فصل ۱

1-1- مقدمه

مواد، نام عام وسیعی است که به هرچه از اتم‌ها یا مولکول‌ها تشکیل می‌شود، اطلاق می‌گردد و مواد مهندسی فقط بخش کوچکی از آن به حساب می آید. علم مواد از جذاب ترین و زیباترین شاخه های علوم است که بسیاری از موارد مهم علوم را در بر می گیرد.

مواد مهندسی امروزه کاربرد زیادی دارد که میتوان در سازه ها ، ماشینها ووسایل دیگر مشاهده کرد، این مواد شامل فلزات ، سرامیک ها و پلی مر ها را شامل می شوند. در موضوع علم مواد ارتباط بین ساختار مواد، روش ساخت آنها، خواص آنها و عملکرد مواد مورد بررسی قرار می‌گیرد. مهندسی مواد در گذشته در زمینه خاص و محدود مطالعه می شده است.ولی اکنون شامل طیف وسیعی از مواد از قبیل فلزات، سرامیک‌ها، پلیمرها،ابرساناها، نیمه هادی‌ها، مواد مغناطیسی، مواد الکتریکی و غیره می شود. به جرأ ت میتوان گفت که علم مواد پل ارتباطی بین علوم پایه و مهندسی ساخت می‌باشد. به همین جهت اکثر رشته‌هاي مهندسی ساخت (برق، مکانیك، عمران، خودرو و کامپیوتر)، مصرف کننده نتایج فعالیت‌هاي تحقیقاتی رشته مواد می‌باشند.

1-2- انواع مواد مهندسی

مواد همانگونه که اشاره شد، نام عام وسیعی است که به هرچه از اتم‌ها یا مولکول‌ها تشکیل می‌شود، اطلاق می‌گردد و در این بیان موجودات جاندار و بی‌جان، گاز، مایع یا جامد، زیستی و غیر زیستی را دربرمی‌گیرد که در مهندسی مواد فقط بخش کوچکی از آن استفاده می‌شود. طبقه‌بندي‌هاي مواد هر چند ویژگی‌هاي کاربردی مناسبی دارد، ولی از تعریف و بنیان علمی مناسبی برخوردار نیست. لذا در این بخش به مفهوم و طبقه‌بندي‌هاي آن به اجمال می پردازیم. مواد مهندسی شامل فلزات، سرامیك‌ها و پلیمرها به صورتی علمی تعریف و ساختار، خواص، حالت و کاربرد آنها مشخص می‌شود. شاید معمولی ترین طبقه بندی مواد برحسب فلز و غیر فلز بود آن باشد که این طبقه بندی در نحوه تنظیم جدول تناوبی نیز لحاظ شده است. بدین صورت که عناصر فلزی در قسمت چپ و مرکز جدول قرار دارند و قسمت راست جدول تناوبی را عنصرهای غیر فلزی تشکیل می دهند. ولی طبقه بندی دیگری که براساس اتصال بین اجزای تشکیل دهنده مواد و نحوه آرایش هندسی آنها صورت گرفته است. مواد مهندسی به سه گروه عمده تقسیم شده اند. این سه گروه مواد مهندسی شامل: **فلزات، سرامیک ها و پلی مرها می باشند.**

Scanned by CamScanner

- فلزات - فلزات از نظر علم شیمی عناصری هستند با ظرفیت 1، 2 و 3. خواص آنها شامل جلا پذیری ، چکش خواری یا انعطاف پذیری، هدایت الکتریکی و گرمایی و در مورد برخی از آنها خواص آهن ربایی نیز قابل توجه هستند. از مواد فلزی معروف می توان آهن، مس، آلومینیوم و غیره و همچنین به آلیاژهای آنها اشاره کرد.

- سرامیک ها- این مواد، ترکیبی از یک یا چند فلز با یک عنصر غیر فلزی است. از این مواد می توان اکسید ها، کاربیدها، نیترید ها و همچنین شیشه، چینی و غیره نام برد. ویژگی سرامیک ها سختی بالا، عایق بودن، شکنندگی، مقاوم در برابر سائیدگی و خنثی بودن از نظر شیمیایی می باشد.

- پلی مر ها- پلی مرها متشکل از مواد آلی و مشتقات کربن و هیدروژن می باشند. خواص پلی مرها شامل مقاومت بالا در مقابل خوردگی، سبک و نرمتر از فلزات هستند و اغلب نقطه ذوب پائینی دارند. انواع معروف پلی مرها شامل لاستیک، پلاستیک، پلی اتیلن، پلی استرها و غیره می باشند.

- اجزاء تشکیل دهنده مواد و ساختمان آن

اجزاء تشکیل دهنده تمام مواد، اتم ها هستند. با توجه به اینکه تمام مواد از اتم ها تشکیل شده اند، لذا منطقی خواهد بود که این ذره (اتم) را ابتدا شناخت و آن را بررسی کرد.

3-1- اتم

اتم یا اتم ها شامل ذرات ابتدایی میکروسکوپی هستند که کلیه خواص مواد را شامل می شوند. اتم ها از دو قسمت اصلی تشکیل شده اند، یک قسمت آن را هسته و قسمت دیگر اتم را الکترون یا الکترون ها تشکیل می دهند.

قسمت هسته اتم که جرم پایداری است شامل ذراتی مانند پروتون و نوترون می باشد. هسته در مرکز اتم قرار گرفته است و تمام جرم اتم را تشکیل می دهد. بطوری که اگر یک هسته سبک را در نظر بگیریم تقریبا 1835 برابر سنگین تر از یک الکترون می باشد. یکی از موارد مهم هسته دارا بودن بار مثبت الکترواستاتیک آن است که مقدار عددی آن تقریبا خواص شیمیایی اتم را تعیین می کند. از این میان پروتون دارای بار مثبت واحد است در حالی که نوترون از نظر بار الکتریکی خنثی است. بار واحد مربوط به هسته یک اتم هیدروژن که سبک ترین اتم است برابر است با $e=4/8 \times 10^{-10}$ واحد الکترو استاتیک.

الکترون ها در سطوح انرژی مختلف بنام مدار یا لایه در اطراف هسته اتم قرار دارند و دارای جرم ناچیزی هستند. الکترون در مقایسه با هسته اتم، دارای بار الکتریکی منفی واحد می باشد. هر الکترون دو حرکت همزمان دارد، یکی از این حرکت ها پیرامون هسته است و

Scanned by CamScanner

دیگری حرکت به دور محور خودش (حرکت اسپینی) است. تعداد الکترون ها در یک اتم، عدد اتمی را مشخص می کنند و برابر است با تعداد پروتونها، لذا یک اتم در مجموع از نظر بار الکتریکی خنثی است.

اتم های بسیاری از عناصر در وضعیتی قرار می گیرند که بار مثبت هسته خنثی نشود، در این حالت بجای اتم، یون گفته می شود. در این رابطه اگر اتمی الکترون از دست بدهد یون مثبت و چنانچه اتمی الکترون بگیرد یون منفی نامیده می شود، (پاورقی)

پاورقی* (وقتی اتم‌ها به یون تبدیل می‌شوند، خواص آنها شدیدا تغییر میکند. مثلا مجموعه‌ای از مولکولهای برم قرمز است. اما یونهای برم در رنگ بلور ماده ی مرکب هیچ دخالتی ندارند. یک قطعه سدیم شامل اتم‌های سدیم نرم است. خواص فلزی دارد و بر آب به شدت اثر می‌کند. اما یونهای سدیم در آب پایدارند.

مجموعه بزرگی از مولکولهای کلر ، گازی سمی به‌رنگ زرد مایل به سبز است، ولی یونهای کلرید مواد مرکب رنگ ایجاد نمی‌کنند و سمی نیستند. به همین لحاظ است که یونهای سدیم و کلر را به صورت نمک طعام می‌توان بدون ترس از واکنش شدید روی گوجه فرنگی ریخت. وقتی اتم‌ها به صورت یون در می‌آیند، ماهیت آنها آشکارا تغییر می‌کند) *

1-4- ساختار اتم

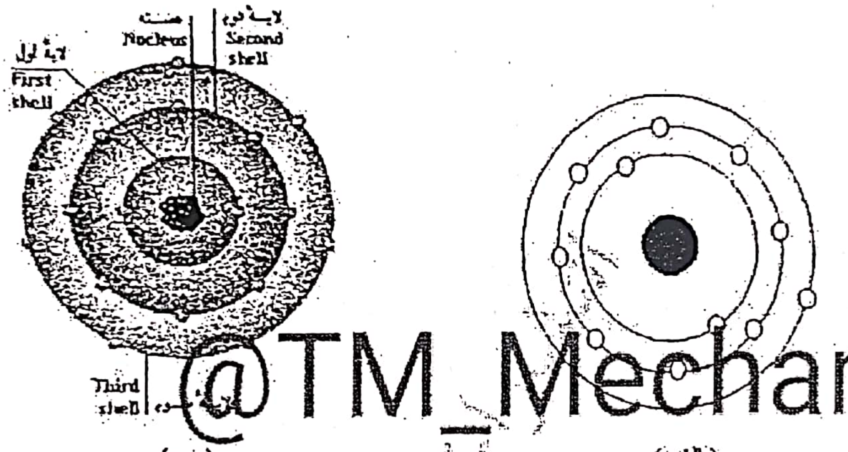
همانطور که گفته شد، اتم بعنوان کوچکترین ذره یک عنصر محسوب می شود و شامل هسته که توسط الکترون ها احاطه شده است. می توان چنین در نظر گرفت که الکترون ها در اطراف هسته در روی مدارها در گردش هستند (چرخش اطراف هسته و حرکت اسپینی). الکترون ها هیچ گاه روی هسته نمی افتند چرا که نیروی گریز از مرکز که بدین ترتیب (گردش الکترون ها) بوجود آمده است با نیروی جاذبه الکترواستاتیک هسته برابر است. لذا در هر مدار یک تراز انرژی مربوط می گردد که هر چه فاصله آن از هسته بیشتر باشد، مقدار آن بزرگتر است.

در هر اتم، تعداد الکترون های یک مدار بخصوص ثابت است. پائولی دریافت که در هر مدار(اوربیتال) در هر لحظه بیش از 2 الکترون قرار نمی گیرد و این 2 الکترون حرکت اسپینی مخالف دارند. بنابراین در ساختار هر اتم، مدار اولی (نزدیکترین مدار به هسته) دارای 2 الکترون است. این الکترون ها، الکترونهایی هستند که دارای انرژی کم و حرکت

Scanned by CamScanner

اسپینی مخالف دارند و پیوند شان با هسته محکم است. لایه یا مدار دومی با هشت الکترون پُر می شود و پایدار می گردد. مدار سومی می تواند تا هیجده الکترون در خود جا دهد ولی با هشت الکترون نیز می تواند پایدار گردد. آخرین مدار در ساختار اتم (دورترین مدار از هسته)، مدار ظرفیت نام دارد که نقش اساسی در اکثر پیوندها دارد.

شکل ۱-۱ الف و ب ساختمان اتمی نشان می دهد که دارای ۱۱ و ۱۷ الکترون دارد. در اولین لایه این اتم ها ۲ الکترون، لایه دومی شان هشت الکترون و باقی مانده در مدار سومی قرار دارند.



@TM_Mechanic

(ب) (الف)

شکل ۱-۱ (الف و ب)

1-5- اتصال بین اتم ها

اتم ها به همدیگر توسط دو نوع پیوند یکی پیوند قوی یا اولیه و دیگری پیوند ضعیف یا ثانویه متصل می شوند. پیوندهای اولیه شامل پیوند فلزی، پیوند یونی و پیوند کووالانسی می باشد. اساس برقراری این پیوند ها (پیوند اولیه) بر مبنای مدار ظرفیت می باشد. پیوند فلزی در بین اتم های فلزی و پیوند یونی در بین یک اتم فلزی و یک اتم غیر فلزی برقرار می شود ولی پیوند کووالانسی از به اشتراک گذاشتن الکترون های مدار ظرفیت بوجود می آید.

پیوند ضعیف یا واندروالس بر مبنای تاثیر گشتاور دو قطبی ایجاد می شود. نحوه تشکیل پیوندها را در فصل دوم ضمن بررسی هر کدام از گروههای مواد مهندسی توضیح داده شده است.

Scanned by CamScanner

1-6- ساختمان مواد

تمام مواد از اتم ها درست شده اند و این اتم ها توسط پیوند شیمیایی به هم متصل و ساختمانهای متفاوتی تشکیل می دهند. این ساختمان ها عبارتند:

الف- ساختمان ملکولی،

ب- ساختمان بلور ی و

ج- ساختمان غیر بلور ی.

الف - ساختمان ملکولی: این ساختمان بدین صورت تشکیل می گردد که تعداد محدودی اتم با یکدیگر توسط پیوند اولیه ملکول را ایجاد می کنند، همین ملکولها توسط پیوندهای ضعیف ثانویه ساختمان ملکولی را ایجاد می کنند. درون ملکولها، اتم ها توسط نیروهای کششی(پیوندی) قوی در کنار هم نگه داشته می شوند. این نوع آرایش از نظر الکتریکی (در مجموع) خنثی هستند. هر ملکول کم یا بیش مستقل از ملکولهای دیگر بوده و بدین دلیل موادی که این نوع ساختمان را دارند دارای نقطه ذوب و جوش پائین تری هستند. چون ملکولها به سادگی بر روی هم می لغزند. جسم دارای ساختمان ملکولی نرم نیز می باشند. ضمناً ملکولها در این مواد در حالت مایع و بخار تجزیه می شوند، برای مثال ملکولهای H_2O ، O_2 ، N_2 ، CO_2 و غیره.

ب- ساختمان بلور ی: آرایش اتم ها در این ساختمان بطور منظم و مرتب قرار دارند و در سه جهت تکرار می شوند. در چنین ساختمانهای یک واحد پایه در سه بعد درون بلور مرتباً تکرار می شوند.

اگر چنانچه اتم ها در یک نظم مشخص و معین در کنار یکدیگر قرار گیرند و مراکز این اتم ها را توسط خط مستقیم به هم متصل شوند، تعداد زیادی منشور های متوالی السطوح مساوی ایجاد می گردد که به این سیستم ساختمان بلوری یا شبکه کریستالی می نامند. کوچکترین منشور متوازی السطوحی که با تکرار آن در سه جهت مختصات شبکه کریستالی حاصل می شود، سلول واحد یا Unit Cell می نامند. شبکه بلوری مواد مختلف در اندازه و شکل سلول واحد شان متفاوت هستند.

ج- ساختمان غیر بلور ی: در این ساختمان اتم ها بطور منظم و مرتب در کنار یکدیگر قرار ندارند. اگر الگوی آرایشی اتم ها به شکل منظم تکرار نشود و الگو در نقاط مختلف بشکند، ساختمان حاصله بی شکل یا آمورف نامیده می شود.

Scanned by CamScanner

مواد موجود در طبیعت بیشمار می باشد. در این کتاب بیشتر مواد مهندسی بررسی می شود. مواد مهندسی همانگونه که قبلا ذکر شد به سه گروه عمده تقسیم شده است: فلزات، سرامیک ها و پلی مرها. این گروههای مواد مهندسی براساس دو عامل یعنی اتصال بین اتم ها (پیوند شیمیایی) و آرایش هندسی آنها (ساختمان) تقسیم بندی شده اند. در این میان فلزات تماما پیوند فلزی و ساختمان بلوری دارند. سرامیک ها اکثرا پیوند یونی و برخی پیوند کووالانسی دارند و دارای ساختمان بلوری و غیر بلوری هستند. گروه سوم مواد مهندسی (پلی مرها) با پیوند ثانویه و یا پیوند کووالانسی دارند و به جرات میتوان گفت که تمام پلی مرها غیر بلوری هستند.

جهت بررسی دقیق تر فلزات، سرامیک ها و پلی مرها در فصل دوم نحوه قرار گرفتن اتم ها در کنار یکدیگر و تشکیل ساختمان آنها، جداگانه پرداخته شده است.

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

پیوند و ساختار مواد مهندسی

- فلزات ، پیوند و ساختمان فلزات
- سرامیک ، پیوند و ساختمان سرامیک ها
- پلی مرها، پیوند و ساختمان پلی مر ها

۱-۲- فلزات (گروه اول مواد مهندسی)

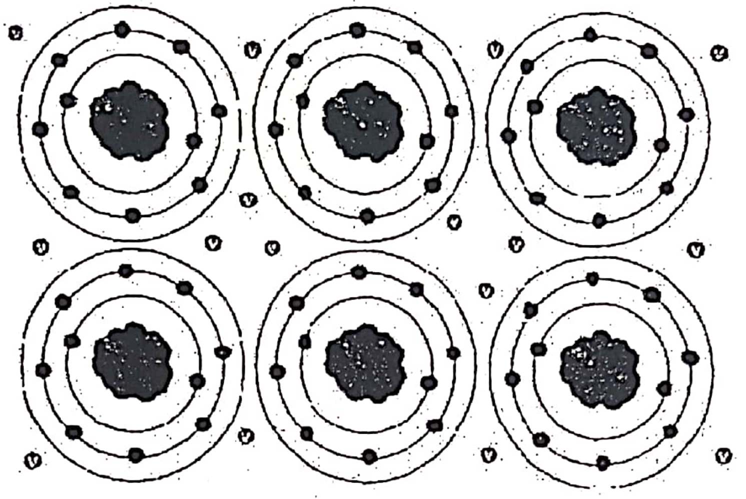
سنگ بنای فلزات اتم های فلزی هستند بنابراین بررسی فلزات از بنای اصلی آن یعنی اتم فلزی شروع می کنیم.مرحله بعدی خواهیم دید که اتم ها با اتصال به همدیگر واحدهای ساختمانی یا سلولهای واحد مرتب شده اند. میلیونها سلول واحد، دانه ها را بوجود می آورند که آنها را زیر میکروسکوپ می بینیم.دانه یا دانه ها فلزات را تشکیل می دهند.بنابراین مطالب را با مروری بر اتم فلزی پیوند فلزی شروع خواهیم کرد، سپس درباره ابعاد هندسی سلولهای واحد و نقش آنها در ساختار دانه توضیح داده خواهد شد.

۱-۱-۲- اتم فلزی و پیوند فلزی

اتم های فلزی همانند دیگر اتم ها از هسته و الکترون ها تشکیل شده اند.ولی یکی از مشخصه بارز این اتم ها این است که در مدار ظرفیت اتم های فلزی فقط یک، دو و سه الکترون بیشتر ندارند و بنابراین مدار ظرفیت اتم ها ی فلزی پر شده نیست.از آنجائیکه الکترون های مدار ظرفیت با هسته پیوند ضعیفی دارند و مدار ظرفیت پرشده نیست، وقتی در کنار اتم فلزی دیگر قرار می گیرد ، هر اتم،الکترون های ظرفیت خود را آزاد کرده و بصورت یک ابر الکترونی در فضای فلز پخش می کنند و در نتیجه یون مثبت بوجود می آید.این عمل باعث ایجاد پیوند فلزی می گردد.(شکل ۲ - ۱).

الکترون های آزاد شده از مدار ظرفیت اتم فلزی قابلیت جابجا شدن در تمام حجم و همچنین حرکت نامنظم با سرعت های مختلف دارند.در نتیجه انرژی جنبشی آنها با یکدیگر متفاوت است.دادن دما به اتم فلزی ،انرژی جنبشی الکترون ها زیاد و می تواند از فلز خارج شود.گرچه سطح فلز را می توان مانعی در راه حرکت الکترون ها به خارج تصور کرد ولی اگر الکترون های آزاد انرژی جنبشی کافی پیدا کنند می توانند از این مانع بگذرند.هدایت الکتریکی و گرمایی فلزات بد لیل حرکت آزادانه الکترون های ظرفیت می باشد.

Scanned by CamScanner

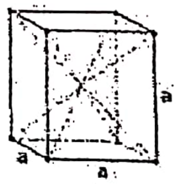


شکل ۲-۱ پیوند فلزی

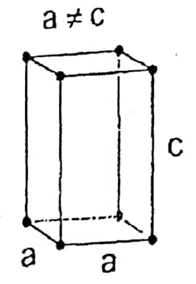
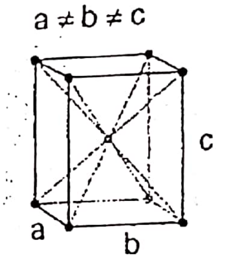
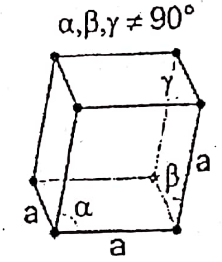
۲-۲- ساختمان بلوری فلزات

همانگونه که قبلا ذکر شد ،اتم های فلزی با همدیگر پیوند فلزی برقرار می کنند و این اتم ها که توسط پیوند شیمیایی محکم شدند،ساختمان بلوری را تشکیل می دهند.کوچکترین قسمت ساختمان بلوری را سلول واحد یا unit call می نامند.شبکه بلوری یا شبکه فضایی کریستال بوسیله یک سیستم مختصات سه بعدی شرح داده می شود که درآن محورهای مختصات بر هر سه لبه کریستال که دریک نقطه تلاقی کرده اند و دریک صفحه واقع نیستند منطبق می باشد.برای تشریح ساختمان بلوری از هفت سیستم با مختصات مختلف محورهای مرجع استفاده می شود.این هفت سیستم که در جدول شماره ۱-۱ نشان داده شده است ،با توجه به شکل و اندازه آنها که توسط ۶ پارامتر ?,?,?,a,b,c مشخص می شوند.

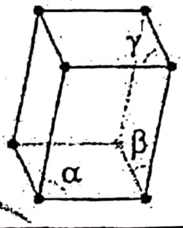
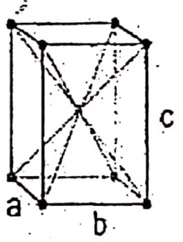
سلول های واحد ← ۱۴ تا

ردیف	مجموعه کریستالی	پارامتر شبکه	انواع آرایش های شبکه
①	مکعبی (cubic)	سه ضلع مساوی با زاویه قائمه	ساده (S.c)
		a ? b ? c, ? ? ? ? ?	مرکز پر (Bcc) ③
			وجوه پر (Fcc)

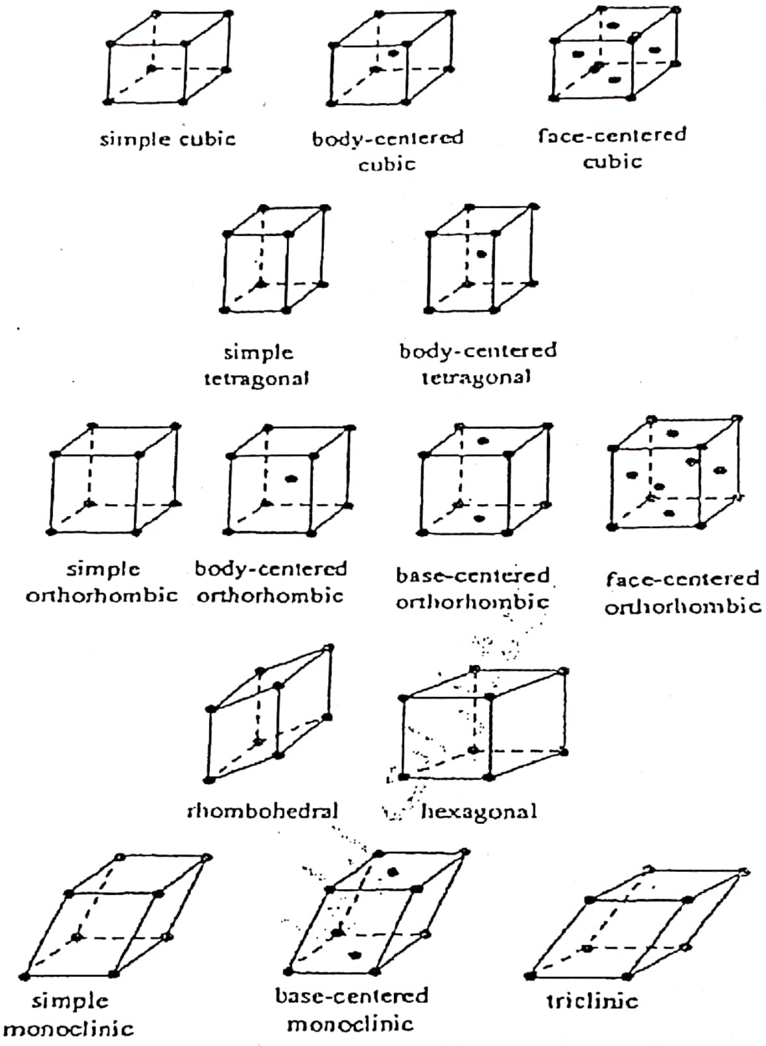
Scanned by CamScanner

۲	جهار وجهی (Tetragonal)	سه ضلع با زوایای قائمه a ? b ? c,? ? ? ? ? ? 90	(ST) ساده (B.C.T) مرکز پر ②
			
۲	راست لوزی یا اورتومبیک (orthorhombic)	سه ضلع نامساوی با زوایای قائمه a ? b ? c,? ? ? ? ? ? 90	(So) ساده (BCO) مرکز پر (Bsco) قاعده مرکز پر ④ (Fco) وجوه مرکز پر
			
۴	رامبو هدرال (Rhombohedral)	سه ضلع مساوی با سه زاویه a ? b ? c,? ? ? ? ? ? 90	(SH) ساده ①
			
⑤	شش وجهی (Hexagonal)	دو ضلع مساوی با زاویه ۱۲۰ درجه، ضلع سوم و عمود بر دو	(Hcp) شش وجهی متراکم ①

Scanned by CamScanner

		سطح دیگر a ? b ? c, ? ? ? ? 90 ? ? 120	
۶ X	کج لوزی یا منو کلینیک (Orthorhombic) $\alpha \neq 90°$ $\beta, \gamma = 90°$ 	سه ضلع نامساوی، زاویه بین دو جفت آنها a ? b ? c, a ? ? ? 90 ? ? 90	ساده (SM) قاعده مرکز پر (SCM) ②
۷ X	کج وجهی یا تری کلینیک (Triclinic) $a \neq b \neq c$ 	سه ضلع نامساوی که با یکدیگر زوایای غیر قائمه و نا مساوی می سازند a ? b ? c, ? ? ? ? ? ? ? 90	ساده (STR) ①

در این هفت سیستم همانگونه که در جدول شماره ۱ -۱ ذکر شده است ,۱۴نوع سلول واحد(آرایش شبکه) وجود دارد بعبارت دیگر در طبیعت ۱۴ نوع سلول واحد وجود دارد که از تکرار آنها در سه جهت ساختمان بلوری تشکیل می شود.سلول های واحد در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. . در این میان اکثر مواد مهندسی که ساختمان بلوری دارند از ۱۴ نوع سلول واحد، فقط دارای ۳ نوع سلول واحد می باشد که این نوع سلول واحد در سیستم های مکعبی (Bcc،Fcc) و شش وجهی می باشند (Hcp).



شکل ۳ -۱ انواع سلول های واحد

1-2-۲- واحد ساختمانی سلول واحد

از آنجائیکه کوچکترین قسمت ساختمان بلوری را سلول واحد تشکیل می دهد بنابراین روی این مطالب مکث و بحث بیشتری می کنیم.البته روی سلولهای واحدی که مواد مهندسی دارند .همانگونه که ذکر شد اکثر مواد مهندسی دارای سلول واحد Bcc ، Fcc و Hcp هستند و بندرت انواع دیگر در فلزات دیده می شوند.

Scanned by CamScanner

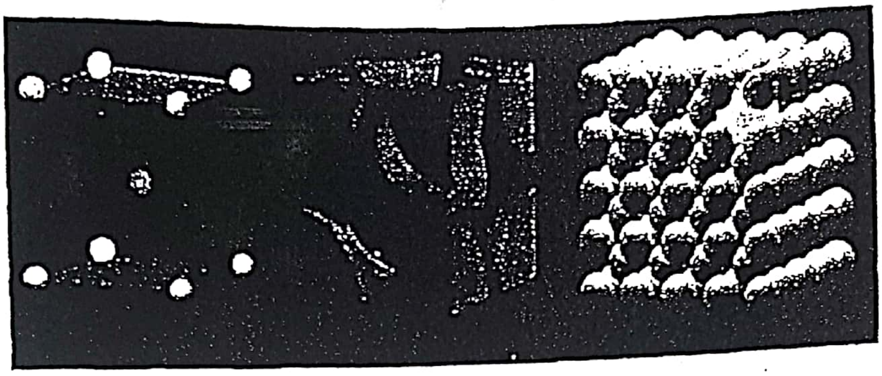
ابعاد شبکه فضایی بوسیله پارامتر ها یا ثابت های شبکه ای مشخص می شود.این پارامتر ها فاصله بین صفحات موازی اتم ها ی تشکیل دهنده سلول واحد را نشان می دهد. ثابت های شبکه ای را با واحدهای آنگستروم که با علامت اختصاری A° و $10^{?}cm$? ۱۸ می باشد ،اندازه گیری می کنند. ثابت شبکه ای سیستم مکعبی معمولا بین ۲/۸۶ الی 6/07A° و سیستم هگزا گونال حدود تغییرات از ۲/۸۲ تا ۳/۹۸ انگستروم بر پارامترهای a یا b و این حدود در ضلع c از ۳/۵۷تا ۶/۵۲ انگستروم می باشد.

الف- سلول واحد Bcc (Body Cubic Center) یا مکعب با مرکز پر

در این نوع سلول واحد که درآن اتمها در رئوس یک مکعب قرار گرفته اند و یک اتم هم در مرکز مکعب واقع شده است. بنابراین این نوع سلول واحد تشکیل شده است از ۹ اتم. مواد بلوری که دارای این نوع سلول واحد هستند می توان از ...Li,Ba,k,Ba,? ? T,و7و8$, Ta,? ? c?, MO,? ? W,? ? Fc نام برد.نمونه هایی از سلول واحد Bcc در شکل ۴ -۱ نشان داده شده است.

شکل ۴ -۱ سلول واحد Bcc

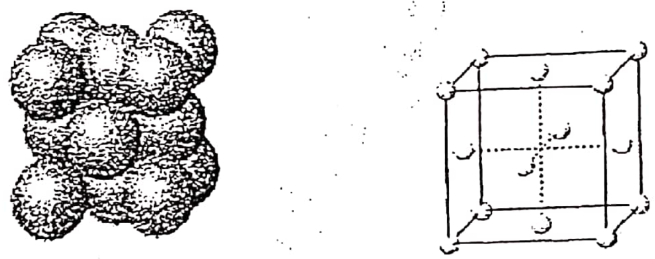
در این شبکه فضایی به ازاء هر سلول واحد ۲ اتم وجود دارد، یکی در مرکز مکعب(اتم مرکزی با هیچ سلول واحد تکرار شده دیگر تماس ندارد) و دیگری شامل اتم های موجود در رئوس مکعب. از هر اتم موجود در راس،۷ راس دیگر هم سهم می برند و فقط $1/8$ جرم این اتم به سلول واحد مورد نظر تعلق دارد. بنابراین حجم یک سلول واحدBcc توسط $1+8 \times 1/8 = 2$ اتم اشغال شده است (شکل ۵ -۱).



شکل ۵ ـ ۱ شبکه بلوری مکعب با مرکز پر

ب- سلول واحد Fcc (Face Cubic Center) یا مکعب با وجوه پر

در این نوع سلول واحد علاوه بر اتم ها در رئوس مکعب ،در مرکز هر وجه آن نیز یک اتم قرار دارد.بنابراین یک سلول واحد Fcc از ۱۴ اتم تشکیل شده است. نمونه هائی از این نوع سلول واحد درشکل ۶-۱ نشان داده شده است.



شکل ۶ ـ ۱ سلول واحد Fcc

این نوع شبکه در اجسام زیر دیده می شود. Cu, Al, Pb, S, ? ? Fe, B ? co, Ni, Pt,...

حجم سلول واحد Fcc از ۱۴ اتم تشکیل دهند فقط ۴ اتم اشغال می کند.این اتم ها عبارتند از :نصف هر اتم های وجوه $(6 \times \frac{1}{2} = 3)$ $\frac{1}{8}$ اتم های رئوس $(8 \times \frac{1}{8} = 1)$

$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ (شکل ۷ ـ ۱).

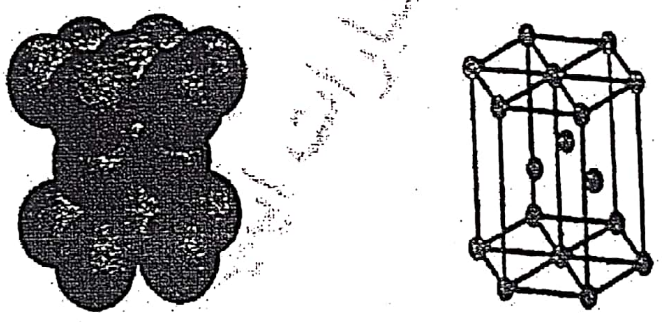
Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

شکل ۷-۱ شبکه بلوری مکعب با وجوه پر

د - سلول واحد Hcp (Hexagonal Closed Packed) یا شش وجهی متراکم

سلول واحد Hcp در مواد از جمله Be, ca, cd, Zn و Ti ؟ ؟ و M_g دیده می شود. این نوع سلول واحد از ۱۷ اتم تشکیل شده است که ۱۲ از آنها در رئوس شش وجهی ۳، تا اتم در داخل شش وجهی (جلو هر وجه یک در میان) و ۲ اتم هم در مرکز وجوه بالا و پایین واقع شده اند(شکل ۸ -۱).

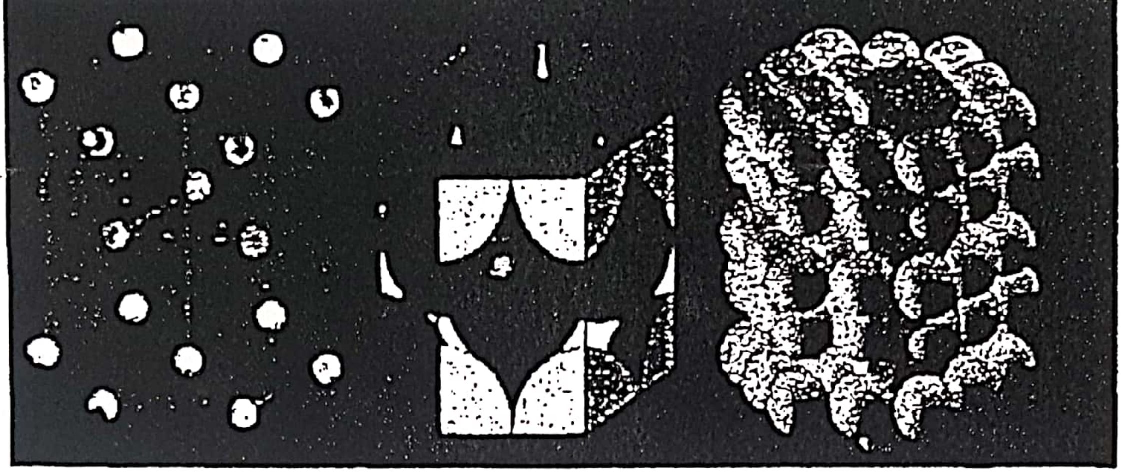


شکل ۸ -۱ سلول واحد Hcc

از این ۱۷ اتم تشکیل دهنده فقط ۶ اتم حجم سلول واحد Hcp را اشغال کرده است که شامل $\frac{1}{6}$ از ۱۲ اتم رئوس($12\times\frac{1}{6}=2$) .نصف هر کدام از اتمها ی مرکز وجه بالا و پایین ($2\times\frac{1}{2}=1$) و سه تا اتم در مرکز شش وجهی ($12\times\frac{1}{6}+2\times\frac{1}{2}+3=6$). نمونه هائی از سلول واحد Hcp را در شکل ۹ -۱ نشان داده شده است.

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner



شکل ۹ -۱ شبکه بلور ی شش وجهی متراکم

۲-3 - آلوتروپی

همانگونه که در سلول های واحد اشاره شده فوق ملاحظه شد، برخی از مواد بلور ی دارای دو یا چند نوع سلول واحد دارند. ماده خالصی که از دمای اتاق تا دمای ذوب بیش از یک نوع سلول واحد داشته باشند، مواد آلوتروپی یا خاصیت چند شکلی می گویند.

در ساختمان درونی برخی از مواد بلور ی در هنگام تغییر درجه حرارت نظم ، ترتیب و قرار گرفتن اتم ها در سلول های واحد تغییر می کند و سلول های واحد جدید تری تشکیل می گردد. بنابراین، تغییر بلور در اثر درجه حرارت را آلوتروپی می گویند. تغییر یک سلول واحد به سلول واحد دیگر در فلزات خالص در یک دمای ثابت صورت می گیرد، ولی برای مواد بلور ی ناخالص، این درجه حرارت به خلوص مواد بستگی دارد. یعنی هر چه درجه خلوص مواد بلور ی بیشتر باشد (عبارت دیگر هر چه نا خالصی کمتر با شد) درجه حرارت تبدیل ساختمان به درجه حرارت تبدیل ماده خالص نزدیک تر است.

۲-۴- مکان یابی صفحات و جهت های بلور ی

جهت شناخت بهتر سلول های واحد و حرکت یک اتم در آنها به سیستمی احتیاج است که عوامل زیر را مشخص می کند:

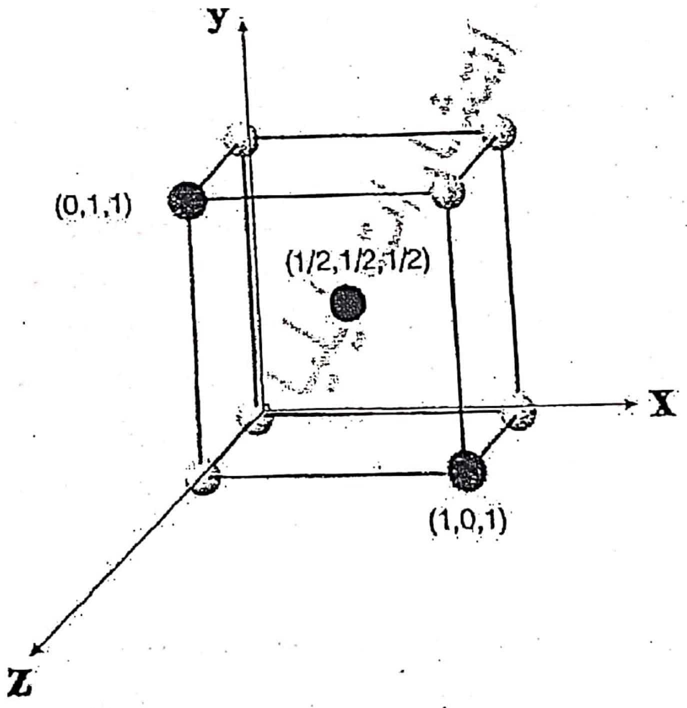
الف- موقعیت یا مختصات اتم،

ب- جهت ها در سلول واحد و

د- صفحات در سلول واحد.

Scanned by CamScanner

الف- موقعیت اتمها: موقعیت یا مختصات یک اتم نسبت به محور های سلول واحد و نسبت به یک واحد طول (ابعاد)سلول مشخص می شود. اگر ابعاد یک سلول واحد را با a_0 انگستروم در جهت محور x و به اندازه b_0 انگستروم در محور y و c_0 در محور z در نظر بگیریم و محور ها به یکدیگر عمود باشند.موقعیت یا مختصات اتم ها بصورت زیر می باشند (شکل ۱۰ -۱) اتمی که در مرکز مکعب قرار دارد .دارای مختصات $(\frac{1}{2}و\frac{1}{2}و\frac{1}{2})$ است .مختصات دیگر اتم ها نیز در شکل ۱۱-۱ قید شده است .قابل ذکر است که ابعاد a،b،c با زیرنویس صفر مشخص می شود که این ابعاد در دمای متعارفی 20c ؟ را نشان می دهد.طبیعی است که با افزایش دما سلول واحد منبسط می شود و ابعاد a،b،c تغییر می کند.

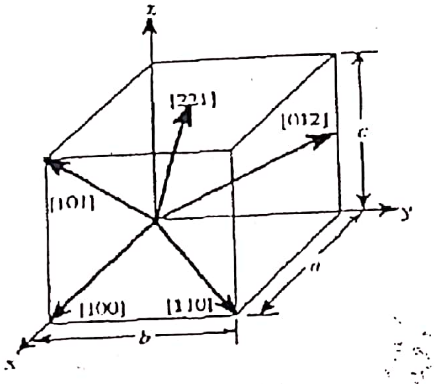


شکل های ۱۰ -۱ و ۱۱ -۱

ب- جهت اتمها: برای مشخص کردن یک جهت دریک سلول واحد، ابتدا مبداء بردار جهت را از مرکز محور مختصات شروع، امتداد آن را آنقدر ادامه داده می شود تا به مختصاتی با عدد صحیح برسد.سپس اگر مختصات کسری بدست آمدند،آنرا در کوچکترین

Scanned by CamScanner

مخرج مشترک ضرب می شود. بدین ترتیب جهت اتم ها در سلول واحد مورد نظر بدست می آید. جهت چندین اتم در یک سلول واحد در شکل ۱۲ -۱ نشان داده است. قابل ذکر است که برای مشخص کردن جهت اتم ها در سلول واحد از علامت کر و شه استفاده میشود تا با مختصات اتم و صفحات در سلول واحد اشتباه نشود. ضمنا اگر شاخص های جهت، موقعیت یا صفحه منفی باشد با یک علامت منفی روی آن مشخص می گردد.



شکل ۱۲ -۱ جهت اتم ها

د- صفحات در سلول واحد: نحوه پیداکردن شاخص های میلر یک صفحه با روش پیدا کردن و نشان دادن شاخص نقاط و جهات تفاوت دارد. برای این منظور ترتیب زیر باید به دقت رعایت شود.

۱ -- صفحه ای در سلول واحد انتخاب شود که از مرکز محورهای مختصات نگذرد.

۲ -- نقاط تقاطع صفحه با محورها را بصورت ضرایبی از a، b و c به ترتیب روی محورهای x و y و z مشخص میگردد.

۳ -- مختصاتی که کسری بدست آمدند، معکوس و سپس به عدد صحیح تبدیل شود.

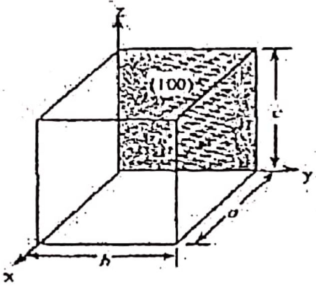
۴ -- صفحه ای انتخاب گردد که بیشترین اتم را در بر گیرد. (صفحه لغزش)

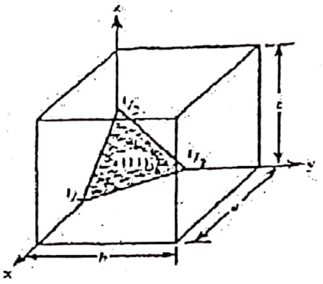
توجه شود که شاخص صفحات در داخل پرانتز بدون علامت ویر گول نشان داده می شود تا با مختصات اتم ها اشتباه نشود.

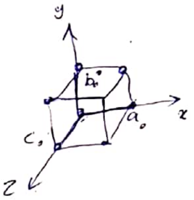
تعدادی از صفحات، موقعیت و جهت اتم ها در شکل ۱۳ -۱ نشان داده شده است.

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

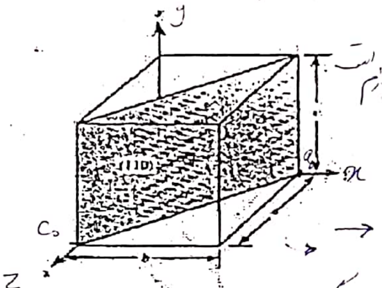






h k l	h k l
$\frac{1}{1}, \frac{1}{\infty}, \frac{1}{\infty} = (100)$	$\frac{1}{1/2}, \frac{1}{1/2}, \frac{1}{1/2} = (222) = (111)$

- هر چه اتم بیشتر، نیروی انرژی لازم برای حرکت دادن صفحات کمتر و انرژی کمتری لازم است و بالعکس.



$h \ k \ l$

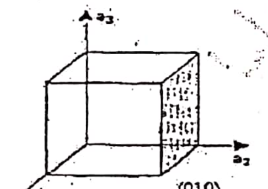
$\frac{1}{1}, \frac{1}{1}, \frac{1}{\infty} = (110)$

→ (۱ و ۰ و ۱) — اسم صفحه.

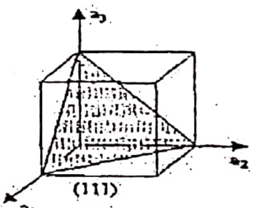
نام محور → [x y z] (بدون ویرگول)

مختصات → (x , y , z)

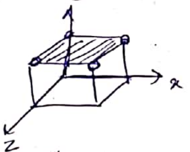
این صفحه ۵ اتم دارد.



(010)



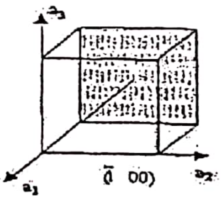
(111)



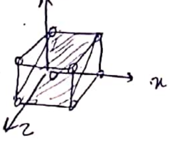
چون صفحه مورد نظر، محور y را در b_0 قطع کرده به جای آن، یک می‌گذاریم.

نام صفحه ← (۰ و ۱ و ۰) x y z ← ولی محور x و z را قطع نکرده به جای آن صفر می‌گذاریم

که ۴ اتم دارد.

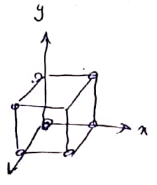


(100)



نام صفحه ← (۰ و ۱ ۱) x y z ۵ که ۵ اتم دارد.

سلول واحد B.C.C ⟸ که یک اتم هم در مرکز دارد.



و صفحات لغزش آن تمام صفحاتی است که در اشکال بالا رسم شده.

در سلول B.C.C صفحات (۰ ۱ ۱)، (۱ ۱ ۰)، (۱ ۰ ۱) دارای ۵ اتم‌اند و صفحات مرتبه اعظم ۵ اتمی اند.

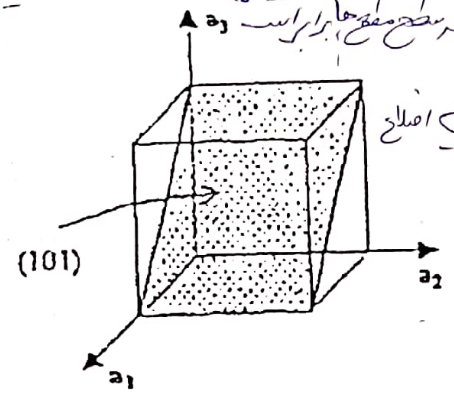
- در سلول های B.C.C که ۲ عدد صفحه ۱ باشند ولی صفر باشد صفحات ۵ اتمی اند و سر اتم برای لغزش اند ← هر سلول واحد B.C.C دارای ۶ صفحه لغزش است.

۶ صفحه لغزش دارد

۵ ((۱ ۰ ۱)) اسم ۲ پرانتز یعنی مجموعه صفحات با این ویژگی ها تا باید

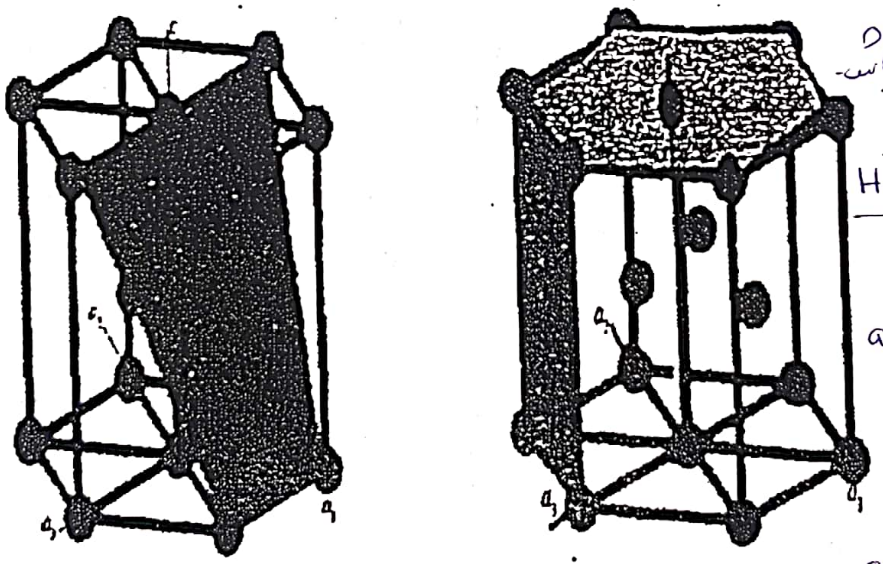
Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner



شکل ۱۳ ـ ۱ موقعیت، جهت تعدادی اتم در سلول واحد مکعب و همچنین برخی از صفحات.

شاخص های میلر برای مشخص کردن جهات و صفحات در ساختار های شش وجهی کمی متفاوت با شاخص های ساختار مکعبی است.در شش وجهی به جای سه محور x، y و z از چهار محور a_1، a_2، a_3 و c استفاده می شود.سه محور a_1، a_2 و a_3 که با یکدیگر زاویه ۱۲۰ درجه می سازند و محور چهارم (c) در جهت z می باشد.تعدادی از صفحات در سلول واحد Hcp در شکل ۱۴ ـ ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۴ ـ ۱ صفحات در سلول واحد شش وجهی متراکم

۵-۲- سلول واحد و اندازه گیری (شعاع اتمی)چگالی ،چگالی صفحه ای و خطی

۱-۵-۲- چگالی

چگالی یک شبکه کریستالی یعنی حجم اشغال شده بوسیله اتم ها،اگر جرم عنصری را M ، و حجم سلول واحد را با v نشان دهیم، چگالی برابر است با $\frac{M}{V}$. اگر وزن یک اتم عنصری را داشته باشیم،با توجه به عدد آوگادرو $6/02\ 10^{23}$ می توان جرم عنصر(M)را بدست آورد. حجم یک سلول واحد (v) را با توجه به نوع شکل آن(مکعب یا شش وجهی) امی توان حساب کرد،در نتیجه چگالی محاسبه می شود.

برای مثال،چگالی مس ۸/۹۶ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد.باید با استفاده از جرم مس در حجم سلول واحد مس،همین عدد را بدست آورد.وزن یک اتم مس ۶۳/۵g/at؛ به تعداد $6/02\ 10^{23}$ اتم وجود دارد.سلول واحد مس Fcc می باشد که حجم آن برابر است با یک ضلع به توان سوم. بخاطر اینکه در سلول واحد Fcc ،چهار اتم حجم آن را اشغال کرده است.بنابر این خواهیم داشت

$$\text{چگالی مس} ? \frac{63/5(3/6A^{\circ})}{6/02\ 10^{23}} ? 4$$

$$\text{چگالی مس} \frac{\frac{63/5g/at.wt}{6/02 ? 10^{23} atcm/at.wt} ? 4}{(3/61)^3 ? 10^{-24}} ? 8/9g/cm^3$$

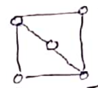
دریک اتم تعداد الکترون ها با تعداد پروتونها برابر است.پروتون و نو ترون دارای جرم مساوی هستند.از این جرم بعنوان واحد جرم اتمی $1/66\ 10^{-24}g$ استفاده می شود.با توجه به اینکه این جرم بسیار کوچک است،معمولاً از مول به عنوان واحد جرم اتمی استفاده می شود.یک مول (نو ترون،پروتون،اتم،مولکول)دارای $6/02\ 10^{23}$ ذره است.

۲-۵-۲- شعاع اتمی

اگر اتم ها بصورت کره سخت و صلب در نظر بگیریم و با شناختی که از ابعاد سلول واحد داریم می توان شعاع اتمی را حساب کرد.در این ارتباط شعاع اتمی سلولهای واحد Bcc ، Fcc ، Hcp به صورت زیر می باشد.شعاع اتمی زمانی اهمیت پیدا می کند که اگر عنصر به داخل عنصر دیگر جهت درست کردن آلیاژ اضافه می شود.

Scanned by CamScanner

و با محاسبه هایی در سلول های اطراف آن $\leftarrow CN = 12$



قطر وجه رسم می شود. Fcc

طول قطر درجه $4r = a\sqrt{2}$

شعاع اتمی $= 2r = \frac{a\sqrt{3}}{4}$

$2r = \frac{a\sqrt{2}}{2}$

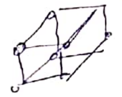
$4r = a\sqrt{2}$

$\frac{a\sqrt{2}}{2}$

H.C.P در $2r = a = b$

$CN = 12$

قطر مکعب رسم می شود. در B.C.C



قطر اتم قطر $= 2r = \frac{a\sqrt{3}}{2}$ شعاع اتمی $r\ ?\ \frac{a\sqrt{2}}{4}$

$2r = \frac{a\sqrt{3}}{2} \longrightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$

$r\ ?\ \frac{a}{2}$

B.C.C در $\longrightarrow CN = 8$ (همسایگی)

طول قطر مکعب $= 4r = a\sqrt{3}$

H.C.P:

$2r = a$, $2r = c$, $a = b \neq c$

F.C.C در $\longrightarrow CN = 12$

$2r = \frac{a\sqrt{2}}{2} \longrightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{2}}$

۳-۴-۲- چگالی صفحه ای

در بخش های بعدی خواهیم دید که با وارد کردن نیرو یا تنش در برخی از صفحات صورت می گیرد و باعث تغییر شکل دائمی در اجسام می شود.این لغزش روی صفحاتی انجام می شود که تراکم اتم ها روی آنها بیشتر از صفحات دیگر باشد.برای شناخت این صفحات و محاسبه چگالی صفحه ای باید از چگالی خطی مطلع شد.

@TM_Mechanic

۴-۵-۲- چگالی خطی

چگالی خطی مفهوم مهمی است ،چون زمانی که صفحه ها برروی یکدیگر می لغزند لغزش در جهتی روی صفحه انجام می شود که تراکم اتم ها درآن جهت از جهات دیگر بیشتر است این کمیت را می توان بصورت زیر حساب کرد.

اگر خطی کاملا یک اتم را قطع کند،فصل مشترک اتم و خط ،قطر اتم خواهد بود.حال اگر خطی دریک وجه سلول واحد رسم شود با توجه به اینکه این خط چه تعداد قطر اتم کامل یا ناقص را دربرگرفته باشد،چگالی خطی درآن جهت بدست می آید.

برای مثال اگر یک وجه از سلول واحد Fcc را که دارای یک اتم در مرکز وجه و اتم های دیگر در رئوس دارد،خطی را رسم نمائیم همانند شکل ۱۵ -۱ بخاطر اینکه اتم مرکزی

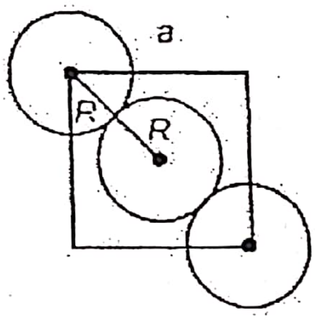
Scanned by CamScanner

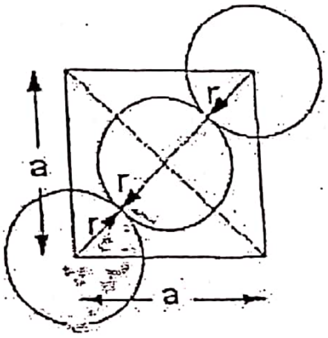
را کامل و فقط به اندازه $\frac{1}{2}$ قطر اتم های رئوس را در برگرفته است بنابراین چگالی خطی برابر خواهد بود با

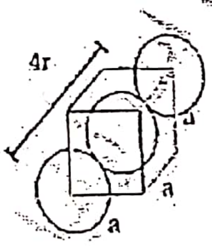
$$\frac{1 ? \frac{1}{2} ? \frac{1}{2}}{a_0\sqrt{2}} \text{atoms}/A^\circ ? \frac{2}{a_0\sqrt{2}} \text{atoms}/A^\circ$$

به همین روش، چگالی خطی در یک سلول واحد BCC برابر است با

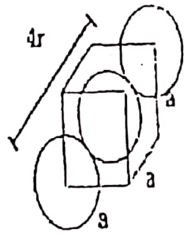
$$\frac{2}{a_0\sqrt{3}} \text{atoms}/A^\circ$$







Scanned by CamScanner
Scanned by CamScanner



شکل۱۵ -۱ فاصله بین اتمی و قطر سلول واحد

6-۲- عدد مختصات یا عدد همسایگی و ضریب تراکم

عدد همسایگی ← تعداد نزدیک‌ترین همسایه‌ها را از اتم به فواصل مساوی از هم در شبکه بلوری قرار دارد.

۱-۶-۲ -عدد همسایگی

CN نام عدد همسایگی.

کلا چگالی یک شبکه کریستالی یعنی حجم اشغال شده بوسیله اتم ها (این اتم ها را میتوان بصورت کره های سخت و محکمی در نظر گرفت)، که توسط عدد همسایگی مشخص می شود. این عدد عبارت است از تعداد نزدیکترین همسایه هایی از اتم که به فاصله های مساوی از آن در یک ساختمان کریستالی واقع شده اند. دریک سلول واحد مکعب با مرکز پر(bcc) کو چک ترین فاصله بین اتم ها خواهد بود. اتم مورد نظر دارای ۸ همسایه است که همگی در همین فاصله ($\frac{a\sqrt{3}}{2}$) از آن واقع شده اند و بنابراین عدد همسایگی آن ۸ میباشد. عدد مختصات یک شبکه بلوری مکعب با وجوه پر (fcc) در کمترین فاصله ($\frac{a\sqrt{2}}{2}$) برابر ۱۲ میباشد. یعنی در این شبکه هر اتم دارای ۱۲ همسایه در نزدیکترین فاصله میباشد. بلا خره عدد همسایگی شبکه شش وجهی متراکم (hcp) نیز در نزدیکترین فاصله (2r)، ۱۲ است.

یعنی در نزدیک‌ترین فاصله اتم ۸ همسایه دارد.

CN → B.C.C → ۸

$۲r = \frac{a\sqrt{۳}}{۲}$

۲-۶-۲- ضریب تراکم

Scanned by CamScanner

حجم یک اتم ⟵ $\frac{4\pi r^3}{3}$

$$\text{ضریب تراکم} = \frac{\text{حجم اتم یا اتم‌ها}}{\text{حجم سلول واحد}} \times 100$$

ضریب تراکم یا ضریب فشردگی برابر است با نسبت حجم اشغال شده توسط اتم یا اتم ها به حجم سلول واحد، (حجم اتم یا اتم ها/ واحد سلول)

تناسب

ضریب تراکم شبکه بلوری مکعب با مرکز پر با توجه به نزدیکترین فاصله اتمی $\frac{a\sqrt{3}}{2}$ و حجم اشغال شده اش بوسیله اتم ها برابر است با:

$$\text{ضریب تراکم در B.c.c} = \frac{2\times\frac{4\pi r^3}{3}}{a^3} = \frac{2\times\frac{4\pi r^3}{3}}{(\frac{4r}{\sqrt{3}})^3}\times 100 \simeq \%68$$

⟵ فضای اشغالی توسط دو اتم موجود در B.cc: $8\times\frac{1}{8}+1$

ضریب تراکم شبکه بلوری fcc برابر است:

$$\text{ضریب تراکم در F.c.c} = \frac{4\times\frac{4\pi r^3}{3}}{a^3} = \frac{4\times\frac{4\pi r^3}{3}}{(\frac{4r}{\sqrt{2}})^3}\times 100 \simeq \%74$$

⟵ فضای اشغالی توسط چهار اتم موجود در F.cc: $6\times\frac{1}{2}+1$

و ضریب فشرد گی شبکه بلوری hcp :

$$\text{ضریب تراکم در H.c.p} = \frac{6\times\frac{4\pi r^3}{3}}{6\times a^2\frac{\sqrt{3}}{4}\times c} = \frac{6\times\frac{4\pi r^3}{3}}{6\times a^2\frac{\sqrt{3}}{4}\times(1.36\times 2r)}\times 100 \simeq \%75$$

⟵ فضای اشغالی توسط شش اتم موجود در H.cp: $12\times\frac{1}{6}+2\times\frac{1}{2}+3$

$c=1.36a \rightarrow c=1.36\times 2r$

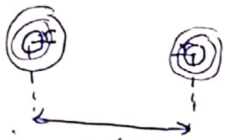
$a=2r$

۲-۷-۳- فاصله های بین اتمی

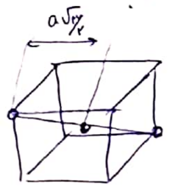
از آنجا که فضای اشغال شده توسط پوسته های الکترونی خیلی زیادتر از اندازه خود الکترون است، بیشترین قسمت حجم یک اتم را فضای خالی تشکیل میدهد. نیروهای بین اتمی، اتم ها را بطرف یکدیگر میکشند ولی از طرفی نیروی دافعه بین هسته های مثبت وجود دارند. در نتیجه در فاصله معینی تعادل بین نیروهای جاذبه و دافعه حاصل میشود. برای زیاد یا کم کردن فاصله بین اتم ها باید به آنها انرژی داده شود. این انرژی ممکن است بصورت انرژی گرمایی، الکتریکی و یا نیروی مکانیکی باشد.

فاصله تعادل بین دو هسته مجاور را میتوان مجموع شعاعهای اتمی آنها دانست. شعاعهای اتمی را میتوان به چند وسیله تغییر داد. درجه حرارت باعث ازدیاد شعاع اتمی و در نتیجه انبساط حرارتی میشود. کم کردن الکترون از پوسته خارجی موجب کم شدن شعاع و

فاصله بین ۲ مرکز اتم را فاصله بین اتمی گویند که از ۲r تشکیل شده و با ۲r نشان می‌دهند.



۲r=a فاصله بین



Scanned by CamScanner

تفاوت ساختار بلوری و غیر بلوری

افزودن الکترون به پوسته خارجی سبب زیاد شدن اتم میشود. علاوه بر اینها تعداد همسایه نیز به اندازه شعاع اتم اثر میگذارد. هر چه تعداد اتم های همسایه زیاد تر شود کشش به طرف هر کدام از اتم ها کمتر و در نتیجه شعاع اتمی زیاد تر میشود.

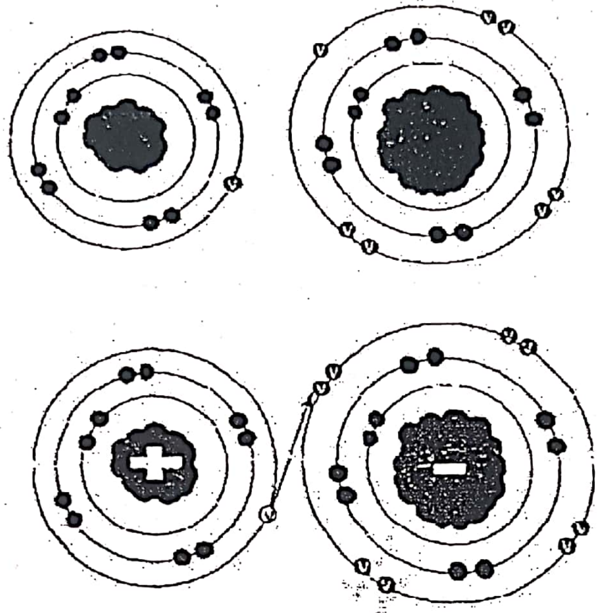
۸-۲- سرامیک ها بلوری - غیر بلوری

سرامیک ها گروه دوم مواد مهندسی هستند که همانند فلزات از اتم ها تشکیل شده اند. ولی اتصال بین اتم ها در سرامیک ها و تا حدودی ساختمان آنها با فلزات متفاوت است. بطور کلی کلمه سرامیک از Clay یا خاک رس گرفته شده است که در لاتین به آن Kerames گفته می شود. این واژه بمرور زمان به سرامیک تبدیل شده است. سرامیک ها معمولا به استثنای فلزات و آلیاژ های فلزی و مواد آلی، شامل تمام مواد مهندسی می شوند که از نظر شیمیایی جزو مواد معدنی هستند و بعد از قرار گرفتن در دمای بسیار بالا، شکل اولیه خود را حفظ کرده و مقاوم تر می شوند. در این بخش سعی خواهد شد از نحوه پیوند اتم هایی که سرامیک را تشکیل می دهند و همچنین ساختمان سرامیک های مهندسی مورد مطالعه و بررسی قرارگیرد.

۱-۸-۲- پیوند یونی

این نوع پیوند در اکثر سرامیک ها وجود دارد و زمانی تشکیل می شود که یک اتم فلزی در کنار یک اتم غیر فلزی قرار گیرد. همانگونه که قبلا هم ذکر شد، یک اتم فلزی در مدار ظرفیتش الکترون کمتری نسبت به اتم غیر فلزی دارد(عناصر غیر فلزی در مدار ظرفیت نسبت به اتم فلزی الکترون های زیاد دارند) وقتی این نوع اتم (اتم های فلزی و غیر فلزی) در کنار هم قرار می گیرند، الکترون یا الکترون ها از مدار ظرفیت اتم فلزی آزاد و اتم های غیر فلزی الکترون های آزاد شده را می گیرند. اتم فلزی که الکترون از دست داده تبدیل به یون مثبت و اتم غیر فلزی الکترون می گیرد تبدیل به یون منفی می شود. این یونهای تبدیل شده منفی و مثبت پیوند یونی را ایجاد می کند (شکل ۱۶ -۱).

Scanned by CamScanner

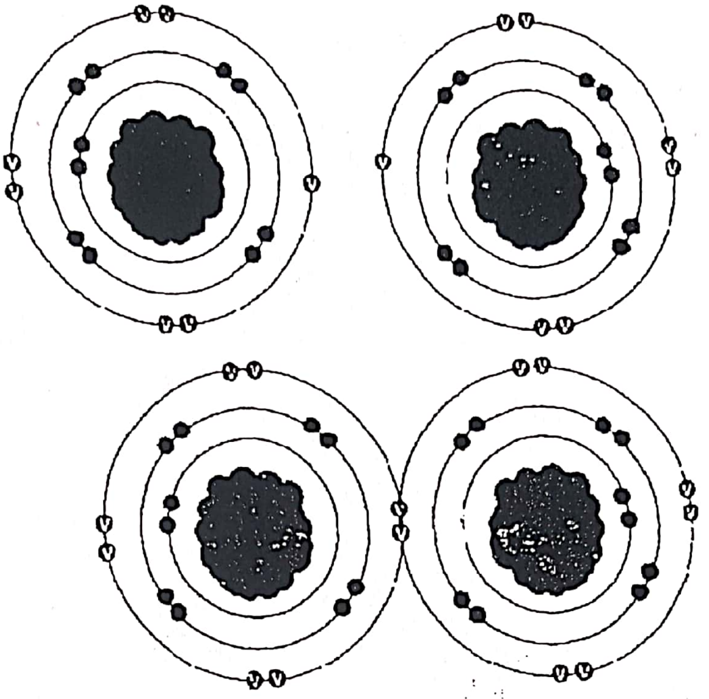


شکل ۱۶-۱ پیوند یونی

۲-۸-۲- پیوند کووالانسی

پیوند کووالانسی نیز در سرامیک ها وجود دارد.این نوع پیوند از به اشتراک گذاشتن الکترون یا الکترون ها مابین اتم های مجاور بوجود می آید.پیوند کووالانسی معمولا بین دو اتم مشابه ایجاد می شود.با توجه به انرژی یونیزه شدن مشابه،الکترون از اتمی به اتم دیگر منتقل نمی شود.بطور کلی این نوع پیوند زمانی تشکیل می شود که انرژی اوربیتال های اتمی تقریبا مشابه باشد.ویژگی پیوند کووالانسی هدایت الکتریکی بسیار ضعیف و سختی بالاست.بهترین عایق های الکتریکی از سرامیک هایی ساخته می شوند که دارای این نوع پیوند هستند (شکل ۱۷-۱).

Scanned by CamScanner



شکل ۱۷ -۱ پیوند کووالانسی

بنابراین سرامیک ها یا پیوند یونی دارند و یا پیوند کووالانسی و ساختمان این گروه مواد مهندسی نیز اکثرا بلوری و برخی از سرامیک ها ساختمان غیر بلوری دارند.در این مرحله ابتدا به ساختمان بلوری سرامیک پرداخته می شود.در بخش های بعدی به ساختمان غیر بلوری سرامیک پرداخت خواهد شد.

۹-۲- ساختمان بلوری سرامیک ها

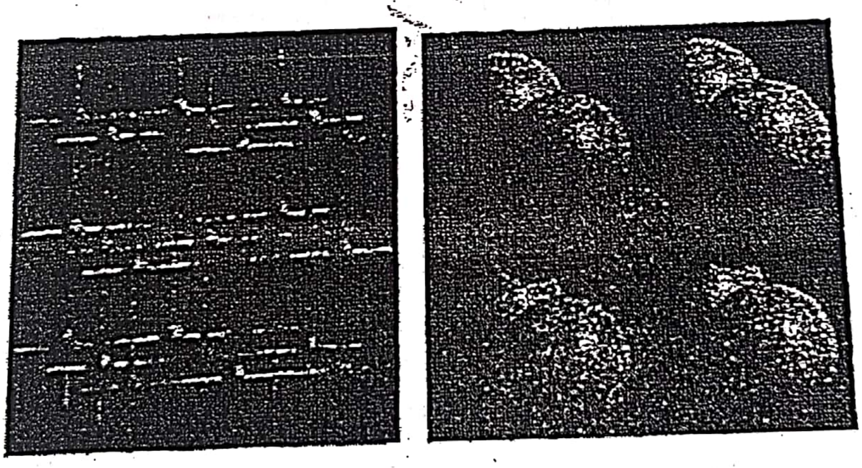
در مواد سرامیکی ،گروههای معینی از ساختارهای بلوری وجود دارند که با اسامی کلیدی شناخته می شوند،مانند ساختار کلرید سدیم و ساختار فلورید کلسیم .اگرچه آن مواد شیمیایی که دارای ساختار کلیدی اند به خودی خود مواد سرامیکی خیلی مهمی نیستند،ولی نماینده گروههای ساختاری بزرگی هستند.با این حال در سرامیک های بلوری همانند فلزات،مهمترین واحدهای ساختاری،سلولهای واحد مکعبی و شش وجهی می باشند اما با کمی تفاوت .اگرچه در نگاه اول وجه اشتراک بین سرامیک ها و فلزات بایستی زیاد باشد، ولی دانش وسیع امروزی نشان می دهد که در مطالعه سرامیک ها نیز از همان ساختارهایی که در فلزات وجود دارند می توان استفاده کرد. با توجه به اینکه مطالب هایی را که در راه شناخت

Scanned by CamScanner

مواد فلزی اشاره شد ،تا حدود زیادی در سرامیک های بلور ی نیز تقریباً صادق است، لذا در ادامه در هر مرحله اطلاعات اضافی یا متفاوتی را که برای شناخت سرامیک ها لازم داریم ذکر خواهیم کرد ما بقی مطالب تا حدودی مشابه گفته های قبلی در ساختمان بلور ی میباشند.

در مطالعه فلزات اشاره شد که اتم ها ی فلزی توسط پیوند فلزی به هم متصل، سلول واحد، و میلیونها سلول واحد در فلزات تشکیل داده می دهند.ولی در سرامیک به جای تنها اتم های فلزی معمولا هم اتم های فلزی وهم غیر فلزی با پیوندهای یونی یا کووالانسی وجود دارند.ضمنا در ساختار سرامیک ها بایستی به موازنه بار های الکتریکی به ظرفیت عناصر بستگی دارد توجه کرد.

در سرامیک های بلور ی همانند فلزات سلولهای واحد مکعبی و شش وجهی مهمترین سلولها هستند.ولی اختلاف شعاع یونی بین یونهای فلزی و غیر فلزی نقش مهمی در آرایش یونها در سلول واحد دارند.یادآوری شود که در فلزات ،آرایش اتم های فلزی در صفحاتی با تراکم زیاد منجر به وقوع لغزش تحت تنش می شود،که شکل پذیری شاخص فلزات ناشی از همین پدیده است.اما در سرامیک ها،هم آرایش اتم ها وهم نوع پیوند ها متفاوت است.بطور کلی در این مواد(سرامیک های بلوری)به جای لغزش و تغییر شکل پلاستیک،با شکست پذیری،یعنی قابلیت شکست روی مرز دانه ای یا روی صفحه ای خاص ،ارتباط نزدیکی با نحوه آرایش صفحه ای اتم ها دارد. نمونه ای از ساختمان بلور ی مواد سرامیکی را در شکل ۱۸-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۸ أ -۱ ساختمان بلور ی مواد سرامیکی

by CamScanner

Scanned by CamScanner

۱۰-۲- ساختمان غیر بلور ی سرامیک ها

گروه دیگری از سرامیک ها هستند که ساختار آنها با آنچه تابحال درمورد آنها(ساختمان بلوری)دیده شد،تفاوت دارد.این نوع سرامیک ها که یکی از آنها شیشه ها می باشند دارای ساختمان غیر بلور ی دارند.قابل ذکر است که شیشه ها نیز در سرعت ها (انجماد)خیلی زیاد می تواند ساختمان بلوری پیدا کند.ساختار شیشه ها بیشتر ساختمان غیر بلور ی است و تا حدودی با ساختمان پلاستیک ها مشابه است.ماده شیشه، ماسه سیلیسی است و واحد ساختاری آن یک هرم مثلث القاعد مرکب از یک اتم سیلسیم در مرکز و چهار اتم اکسیژن در هر رأس است و بنابراین فرمول آن SiO_4 می باشد.اگرچه تمام هرم ها دارای ساختار یکسانی هستند،ولی در نحوه قرارگرفتن آنها در کنار یکدیگر هیچ نظم خاصی وجود ندارد.بدین دلیل است که شیشه ها یک شبکه نامنظم دارند (ساختمان غیر بلور ی).در شکست این نوع ماده هیچ صفحه مشخصی برای شکافتگی وجود ندارد.بطور کلی ساختمان غیر بلور ی از حالت مذاب به حالت خمیری (ویسکوزیته) و از این حالت به حالت جامد بی نظم درمی آید.شیشه ها همانگونه که گفته شد، ماده سرامیک غیر بلور ی است و از سیلیس گداخته(ماده غیر بلور و شفاف) بدست می آید. واحد ساختاری این ماده همان چهار وجهی (واحدهای اولیه)دریک شبکه نامنظم به یکدیگر متصل شده اند، یعنی اتصال آنها براساس هیچ نظم و ترتیب خاصی نیست.

یکی از خواص برجسته شیشه ها این است که این نوع ماده سرامیکی دارای یک نقطه انجماد مشخص ندارند، بلکه هرچه سرد تر می شود، به همان نسبت ویسکوزیته (گرانروی) آن بیشتر می شود. واحد ضریب وسیکوزیته پوز(Poise) و یک پوز برابر است با ۰/۱ پاسکال-ثانیه است و براساس این پارامتر کارهای زیادی ازجمله نقطه کاری، نقطه تا بکاری، نقطه کرنش و غیره می توان روی شیشه ها انجام داد. برخی از کار هائی که بر روی شیشه ها بر اثر دما انجام میدهند عبارتند:

نقطه کار-- دمایی که درآن شیشه به آسانی شکل داده می شود.معادل 10 پوز

نقطه نرم شدن -- دمائی که در آن شیشه می تواند تحت وزن خود به مقدار نسبتاً زیاد شکم بدهد.

نقطه تا بکاری -- دمایی که درآن تنش های باقی مانده در شیشه آزاد می شوند.

نقطه کرنش -- دمایی که درآن شیشه صلب به طور کامل جامد می شود.

دمای تبدیل -- دمایی که درآن،در هنگام سرد کردن مذاب،سرعت انقباض (کاهش حجم به میزان چشمگیری کم می شود)

Scanned by CamScanner

پوسته شدن ـ ترک خوردن و شکسته شدن لایه های سطحی بر اثر قرارگرفتن در معرض گرما،سرما و گاهی همراه با یک عمل شیمیایی.

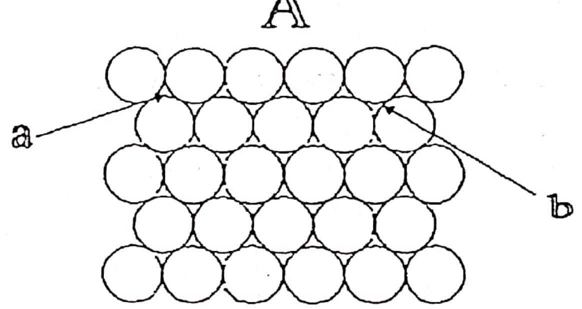
مشخصه مهم دیگر شیشه ها،دمای تبدیل شیشه(tg)است که از حجم ویژه شیشه برحسب دما می توان بدست آورد. دمایی که در آن سرعت انقباض (کاهش حجم)نسبتا سریع تغییر کند،دمای تبدیل نام دارد.در این نقطه(tg)حرکت آزاد مولکولها روی یکدیگر مشکل و ماده بیشتر شبیه یک جامد رفتار می کند تا یک مایع ویسکوز.

۱۱-۲- پیوندهای غیر جهت دار در اتم های هم اندازه و نا مساوی

پیوندهای غیر جهت دار که فلزی و یونی هستند،درست شدن ساختمان توسط این پیوندها،تا حد زیادی به اندازه نسبی اتمها بستگی دارد،بنابراین ساختمان بلوری جامدات با پیوندهای غیر جهت دار به دو دسته تقسیم می شوند.دسته اول بین اتمهایی که یک اندازه هستند مثل فلزات خالص و پیوند فلزی دارند،دسته دوم بین اتم های غیر مساوی مثل سرامیک ها که پیوند یونی رخ می دهد.در هر دو حالت اتم ها را به شکل توپ یا کره صلب و سخت در نظر می گیریم که با هم در تماس هستند و فاصله بین مرکز این توپ ها(اتم ها) در هنگام تماس با یکدیگر برابر طول پیوند باشد(در این الگو الکترون های آزاد و توزیع بارهای الکتریکی در نظر گرفته نمی شود) براساس این الگو اتم ها در ساختار بلور ی به فشرده ترین صورت ممکن در می آید.این آرایش در فلزات به دو نوع آرایش است یکی ساختار مکعبی با وجوه پر دیگری ساختار منشوری فشرده نام دارد.

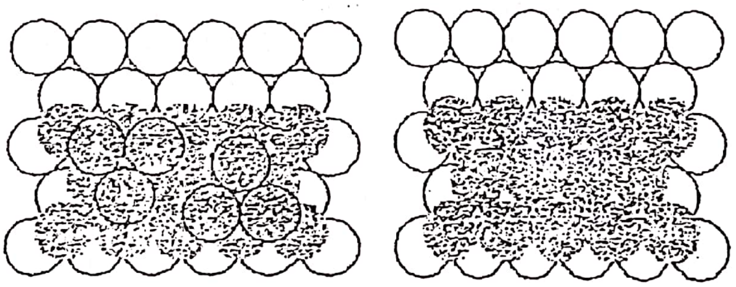
اگر اتم های هم اندازه بطور فشرده در کنار یکدیگر قرار گیرند،هر اتم در یک صفحه می تواند،شش همسایه نزدیک داشته باشد اگر این صفحه A نامیده شود در این صفحه دو نوع فضای خالی بین اتم ها دیده می شود {فضای خالی a(?) و فضای خالی b(?)}؛ همانند شکل ۲۰ -۱. حال اگر صفحه دیگری فرضا B روی صفحه A قرارگیرد تا حداکثر فشردگی را پیدا کند،این صفحه(B) بایستی یا روی فضای خالی a(?) و یا روی فضای خالی b(?) قرار گیرد.

Scanned by CamScanner



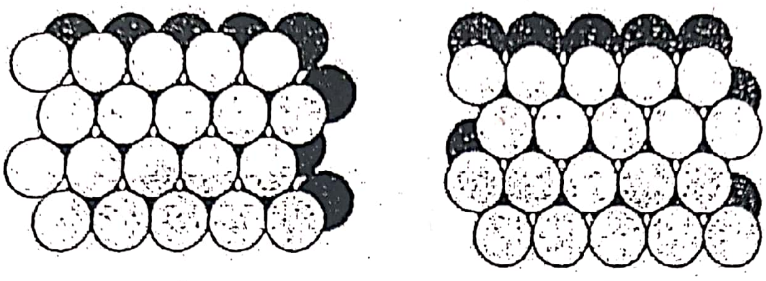
شکل ۲۰ -۱ آرایش فشردگی اتم های هم اندازه

حال اگر صفحه B را که اتم های فشرده تشکیل داده اند توجه شود، همانند اتم های صفحه A دارای دو نوع فضای خالی بین اتم ها دارند.یکی از آنها(فضای خالی) در مرکز اتم های صفحه A است.اگر چنانچه صفحه دیگری مثل (صفحه سومی) روی صفحه B قرار گیرد،این صفحه (صفحه سوم)می تواند به دو صورت باشد .یک حالت آنکه اتم های صفحه سومی روی فضای خالی که در وسط اتم های صفحه A است باشد که در این صورت می توان گفت که صفحه A مجدداً تکرار شده.بنابراین آرایش صفحات بصورت ABABABAB............ درمی آید.این نحوه آرایش را ساختار منشور فشرده می نامند (شکل ۲۱ -۱).



@TM_Mechanic

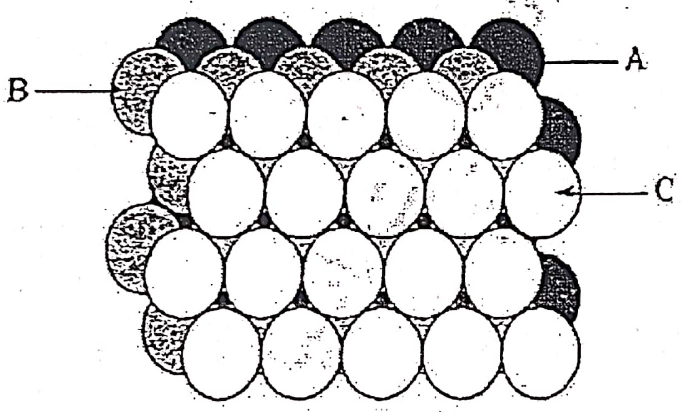
Scanned by CamScanner



(a) (b)

شکل ۲۱ -۱ آرایش غیر جهت دار Fcc و Hcp

اگر اتم های صفحه C ،در روی فضاهای خالی بین اتم های صفحه A قرار گیرد خود صفحه دیگری را بنام صفحه C ایجاد می کند.بنابراین این نحوه آرایش بصورت ABC ABC و ABC خواهد بود.این ساختار را ساختار مکعب با وجوه پر می نامند.شکل ۲۲ -۱ نمونه ای از این نوع آرایش را نشان میدهد.



شکل ۲۲ -۱ آرایش غیر جهت دار Fcc

با توجه به اینکه اندازه اتمهای بلوری یونی با یکدیگر متفاوت است.این اتم ها توسط پیوندهای غیر جهت دار بهم متصل می شوند.هر اتم برای نیل به حالت پایدار سعی می کند تا بیشترین تعداد پیوندهای عکس را ایجاد کند.از آنجائیکه اتم ها در پیوند یونی هم اندازه نیستند و علاوه برآن تمام بلور بایستی از نظر بار الکتریکی خنثی باشد.لذا شناخت رابط بین عدد مختصات و شعاع یونی الزامی است.

Scanned by CamScanner

۲-۱۲- پلی مرها غیر بلوری

پلی مرها گروه سوم مواد مهندسی را تشکیل میدهند و گروه جالبی از مواد هستند. اهمیت این گروه را از مواد مهندسی نه فقط به علت استفاده روزافزون آنهاست، بلکه به این علت که ساختار آنها را میتوان تغییر داد تا طیف وسیعی از رنگ، شفافیت و قابلیت شکل دادن به اشکال مختلف بدست آورد. از میان پلی مرها، پلی مرهای مهندسی را بیشتر پلاستیک ها و لاستیک ها (الاستومرها) تشکیل می دهند. برای بررسی این نوع پلی مرهای مهندسی همانند فلزات و سرامیک ها، از پیوند بین اتم های تشکیل دهنده شروع و سپس به ساختمان آنها خواهیم پرداخت.

۱-۱۲-۲- پیوند بین اتم های مواد پلی مری

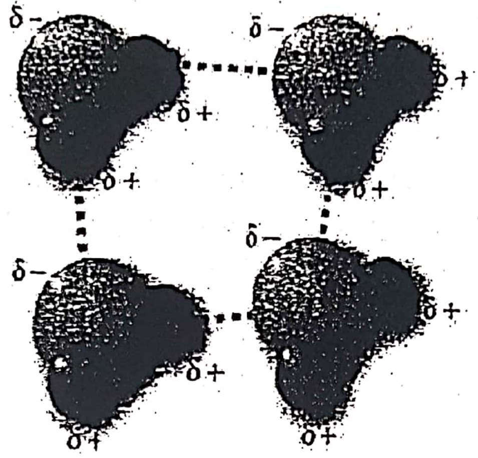
اتصال بین اتم های مواد پلی مری را،پیوندهای کووالانسی و ثانویه تشکیل می دهد و ساختمان آنها برخلاف فلزات ساختمان غیر بلور ی است. پیوند کووالانسی در پلی مرها بین اتم ها یا مولکولهای داخل زنجیر های آن است که در بخش سرامیک ها(گروه دوم مواد مهندسی)به آن پیوند اشاره شده ولی پیوند ثانویه که پیوند بین زنجیر ها در محلهای تماس یا تلاقی را تشکیل می دهند بدین صورت است.

پیوند ثانویه یا واندوالس برخلاف سه نوع پیوند قبلی(فلزی،یونی ،کووالانسی) اساس تشکیل و نحوه بر قرا ریش،مدار ظرفیت نیست ،بلکه این پیوند (پیوند ثانویه) بر مبنای تاثیر متقابل گشتاور دوقطبی الکتریکی است و این گشتاور دوقطبی زمانی تشکیل می شود که دو ذره باردار الکتریکی مخالف با فاصله معین از هم قرار بگیرد،و رابطه زیر برقرار گردد.

? ? q.R

که ? گشتاور دوقطبی ، q مقدار بار الکتریکی ذرات وRفاصله بین مراکز آنهاست.

Scanned by CamScanner

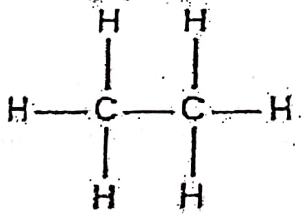


شکل ۲۳-۱: پیوند ثانویه

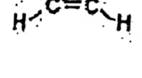
۲-۱۲-۲- نحوه تشکیل پلی مرهای مهندسی

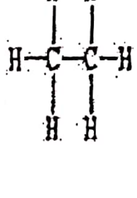
استخوان بندی پلی مرها را اتم های کربن تشکیل می دهد.می دانیم که اتم های کربن در لایه خارجی دارای چهار الکترون دارد (ظرفیت کربن ۴ است).یک اتم کربن می تواند با هریک از الکترون های خود یک پیوند کووالانسی با یک اتم کربن دیگر یا با یک اتم خارجی برقرار کند.

نکته اصلی و کلیدی در ساخت پلی مرها این است که دو اتم کربن،علاوه بر پیوند با اتم های دیگر،می توانند یک،دو یا سه الکترون به اشتراک بگذارند. مانند اتان (یگانه) ، اتن (دو گانه) و استیلن (سه گانه) همانند شکل ۲۴-۱ پیوند داشته باشند.



(a) - پیوند کربنی یگانه (اتان)





Scanned by CamScanner

(b) - پیوند کر بنی دو گانه (اتن)

$$H-C\equiv C-H$$

(c) - پیوند کر بنی سه گانه (استیلن)

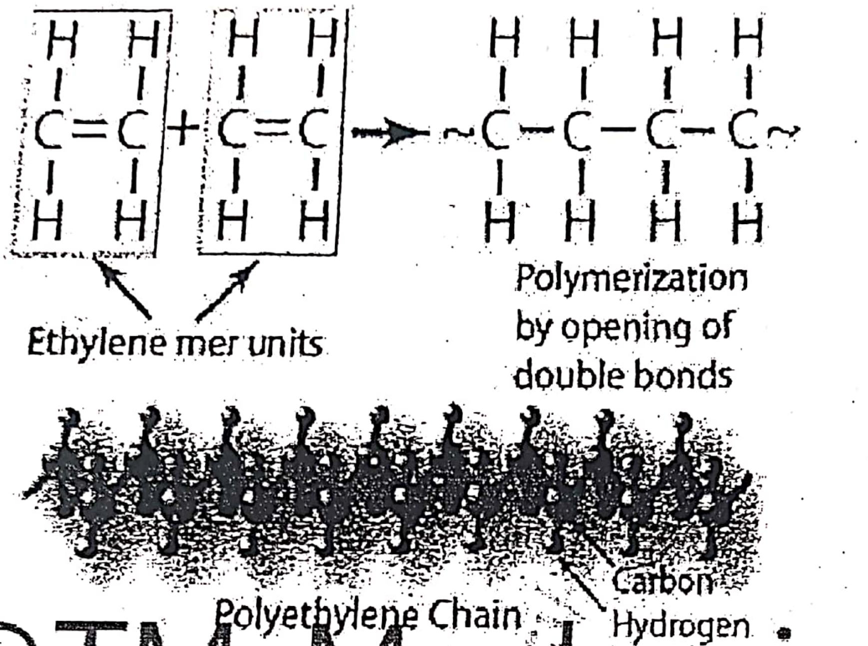
شکل ۲۴ -۱ پیوند های کر بنی یگانه، دو گانه و سه گانه

اتان(C_2H_6) که در هر ملکول دو اتم کربن دارد،به حالت گاز می باشد،که با افزایش تعداد اتم های کربن به چند صد عدد تبدیل به مایع با نقطه جوش بیشتر و بیشتر تبدیل می شود.اگر تعداد اتم های کربن را درآن اضافه شود مایع تبدیل به حالت خمیر می شود و درنهایت اگر تعداد اتم های کربن به بیش از هزار عدد برسد،مواد پلی مری جامد با استحکام و قابلیت انعطاف پذیری خاصی ایجاد می شود.این پدیده ها ناشی از آن است که هرچه تعداد مولکولها زیاد تر شود،کل نیروی پیوند بین مولکولها زیاد تر می گردد.پیوند در داخل مولکولها پیوند کووالانسی است ولی بین مولکولها در پلیمرها ، پیوند ثانویه (واندروالس)می باشد.

اتصال اتم های کربن می تواند پلی مرها افزایشی یا زنجیری (خطی)درست شود و یا پلی مرهایی با ساختار ترا کمی یا مرحله ای ایجاد شود.

۱-۲-۱۲-۲- پلی مرکردن (پلی مریزاسیون) افزایشی

نحوه تشکیل پلیمرهای افزایشی را با دو مولکول ماده ای مانند اتیلن که دو پیوند کربن-کربن دارد شروع می کنیم.در هر مولکول این ماده یک پیوند بازمی شود و مولکولها به یکدیگر متصل می گردد (شکل ۲۵ -۱). منشاء واژه پلی مر(پلی مر=......+مر+مر+مر) همین نکته است.



@TM_Mechanic

شکل [illegible] پلی اتیلن

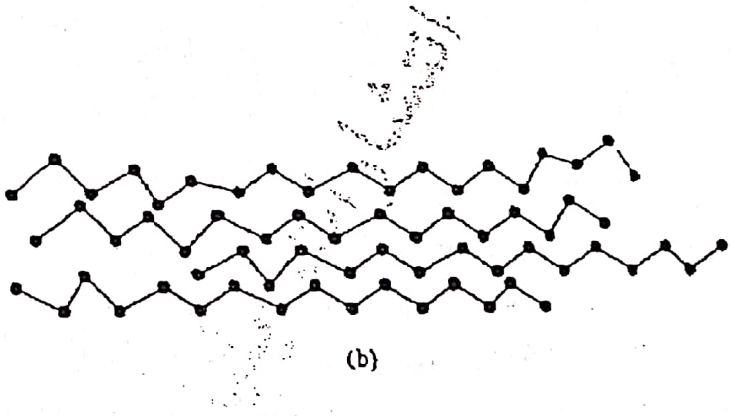
واحد اولیه منومر نامیده می شوند و بنابراین ،ملکول بزرگ یک پلیمر است. قابل توجه است که وقتی دو مر به یکدیگر متصل می شوند،هنوز دو پیوند آزاد دیگر برای اتصال به مرهای دیگر وجود دارد،بطوریکه این فرآیند می تواند ادامه یابد و مرها به یکدیگر زنجیر شوند،این فرایند تکرار می شود تا زمانیکه با افزودن یک ماده شیمیایی بنام پایا نگر به این فرآیند خاتمه دهد. عمل پایا نگر عبارت است از سیر و کامل کردن پیوندهای دو انتها مولکولها. در این ساختار از مولکولها، شبکه بی نظمی تشکیل می گردد و ساختمان غیر بلوری بوجود می آید.

با این روش می توان تعداد زیادی مولکولهای بزرگ از یک پلی مر افزایشی یا خطی بی نظم و بی شکل درست کرد.توجه شود که این مولکولها با اینکه خطی یا زنجیره ای نامیده می شوند، ولی دریک خط مستقیم نیستند و می توان آنها را بصورت انبوهی از کرم ها که در یک سطل ریخته شده اند و بهم پیچیده شده اند در نظر گرفت (شکل ۲۶ - ۱). ضمناً قابل ذکر است که در واقع بین هر پیوند با پیوند بعدی زاویه ۱۰۹ درجه است. بنابراین وقتی که این پلی مرها تحت تنش قرار می گیرند، مولکولها در هم پیچیده کشیده می شوند و ازدیاد طول پیدا می

Scanned by CamScanner

کنند که در مقایسه با مواد سرامیکی و فلزات این ازدیاد طول هزاران برابر در شرایط مشابه است.

(a)



(b)

شکل ۲۴ -۱ مولکولهای بهم پیچیده (a) و زنجیره ای (b)

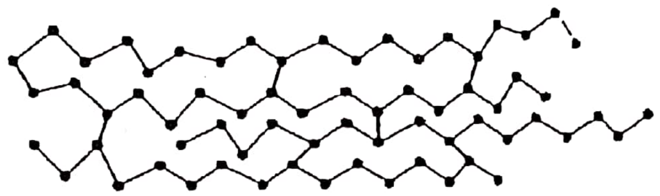
مواد پلی مری که این ساختمان را دارند(ساختار افزایشی یا خطی) ترموپلاستیک یا گرما نرم می نامند،و وقتی به آنها حرارت داده می شود،به حالت خمیری (پلاستیک) تبدیل می شوند.دلیل خمیر شدن این نوع پلی مرها می توان به ساختمان شیشه ها(غیر بلور ی) شباهت داد(انجماد مواد غیر بلور ی) علاوه بر آن چون نیروهای والدروالس (پیوند ضعیف) بین مولکولهای بلند و زنجیری را تشکیل می دهند بر اثر افزایش دما ضعیف ترشده و ماده ذوب می شود.

۲-۳-12-۲- پلی مرکردن ترا کمی(مرحله ای)

در این فرآیند(پلی مریزاسیون مرحله ای)، چون برای رشد مولکول،دو یا چند مولکول مختلف در مراحل متوالی با یکدیگر ترکیب می شوند، سرعت فرآیند نسبت به پلی مرکردن افزایشی آهسته تر است.علاوه براین، در این نوع پلی مریزاسیون همیشه یک محصول جنبشی وجود دارد که باید متراکم شود(پلی مر ترا کمی). برای تشکیل این نوع پلی مرها(پلیمرکردن ترا کمی یا مرحله ای) مرها باید بیشتر از دو محل برای تشکیل پیوند داشته باشند در غیر اینصورت فقط یک پلی مر خطی می تواند تشکیل شود. گروهی از پلاستیک ها(پلی مرها) که دارای ساختار ترا کمی دارند، ترموست یا گرما سخت نامیده می شود. بنابراین این پلاستیک ها که شکل می گیرند و ساخته می شوند.مولکولهای درآن هیچ حرکتی بدلیل داشتن پیوندهای جانبی ندارند.علاوه براین، وقتی به مواد پلی مری ترموست حرارت داده می شود،به حالت پلاستیک (خمیری) تبدیل نمی شوند، بلکه پیوند بین مولکولها از هم پاشیده می شوند و نهایتا ذوب تیز نمی گردد.

(a)

Scanned by CamScanner



(b)

شکل ۲۷ ـ۱ مولکولهای پیچیده (a) و با پیوند ها جانبی (b)

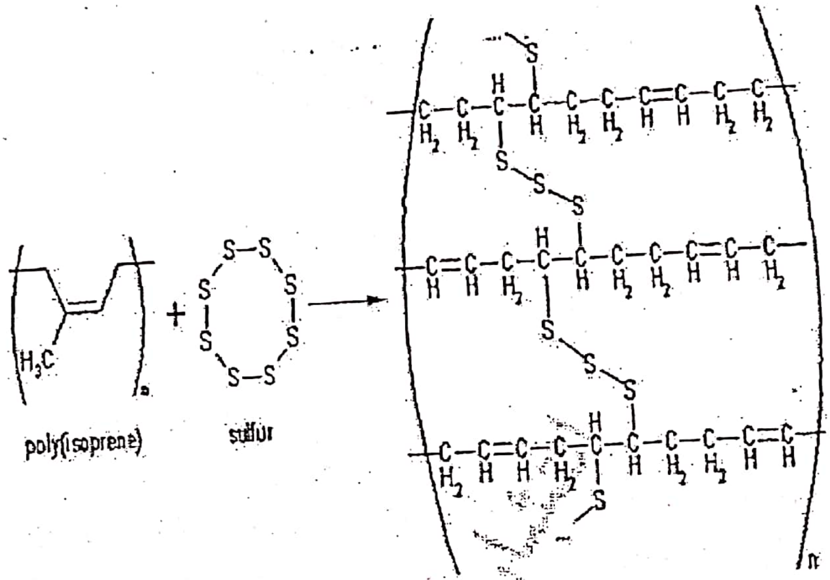
۳-۱۲-۲ـ الاستو مر ها

الاستو مر ها پلی مر هاتی هستند که در دمای اتاق و در اثر نیرو به مقدار بسیار زیادی تغییر شکل داده و پس از بر داشتن نیرو به شکل و اندازه اولیه خود بر می گردند. این تغییر طول می تواند به چند صد در صد برسد. نمونه بارز این رفتار در لاستیک مشاده می شود. لاستیک ها همینطوری که گفته شد اساساً پلی مر های غیر بلور ی هستند که دمای تبدیل شیشه آنها زیر دمای کار آنها ست. ساختار این مواد به صورت ملکول ها ی پیچ خورده بسیار انعطاف پذیری است که آزادی حرکت را تامین می کند. گرچه بیشتر لاستیک های تجاری بر اساس ترکیبات بوتادین ساخته می شوند، ولی بسیاری از پلی مر های دیگر نیز دارای مشخصات لاستیکی هستند.

لاستیک طبیعی قبل از ولکانیزه شدن ماده چندان سودمندی نیست. ولکانیزه فرآیندی است که طی آن اتصال جانبی بین زنجیره های الاستیک ایجاد می شود. دلیل ایجاد این اتصال وجود پیوند دو تائی بین دو اتم از اتم های کربن ایزوپرین است.شکل ۲۸ ـ۱ ولکانیزه لاستیک را نشان میدهد که در آن پیوند های دوتایی بین اتمهای کربن شکسته و محلهای جدید برای اتصال پدید می آید. بنابراین با افزودن ماده ای چون گوگرد، دو زنجیر در این محل به یکدیگر پیوند می خورند و گوگرد اتصال جانبی بین زنجیر ها به وجود می آورد. بدین وسیله خواص فیزیکی لاستیک به میزان قابل توجهی تغییر می کند و میزان تغییر خواص، تابع مقدار گوگرد (تعداد پیوند های جانبی) است. مثلاً مقدار گوگرد موجود در لاستیک اتومبیل

Scanned by CamScanner

بین ۳ تا ۵ در صد است و لذا حالت کشسانی دارد. در حالی که در صد گوگرد تقلب بلطری خیلی بالا است و در نتیجه از لاستیک محکم تر می باشد.



شکل ۲۸-۱ پیوند جانبی توسط گوگرد به ماده ایزوپرین

بطور کلی، پلیمرها یا بسپار ها ، ترکیباتی هستند که از بهم پیوستن چندین مولکول منو مر بو جود می‌آیند. پلیمر ها را به طرق مختلف طبقه‌بندی می‌کنند. یکی از روشهای تقسیم بندی پلیمر ها ، تقسیم بندی از نظر خواص است. پلیمر ها از نظر خواص به سه دسته عمده تقسیم بندی می‌شوند .

Scanned by CamScanner

2-13-1 - ترموپلاست ها

ترموپلاست ها ، پلیمرهایی هستند که در اثر فشار، تغییر شکل‌می‌دهند و بعد از حذف نیروی خارجی ، این تغییر شکل ، همچنان باقی می‌ماند. به عبارت دیگر این پلیمرها ، خاصیت پلاستیکی دارند. این پلیمرها در اثر گرما بتدریج نرم می‌شوند. با افزایش دما به حالت مذاب در می‌آیند .بعد از حذف گرما به حالت فیزیکی دما خود تبدیل می‌شوند. این خصلت ، کاربرد صنعتی این نوع پلیمرها را تضمین می کند. اگر ترموپلاستیکی را به صورت پودر یا حلقه‌های کوچک در آوریم و سپس حرارت دهیم، ابتدا نرم و سپس مذاب و ویسکوز می‌شود و اگر آنرا در قالب بگیریم، شکل قالب را به خود می‌گیرد و این علت کاربرد بسیار زیاد این مواد است .

2-13-2- ترموست ها

این پلیمرها ، پلیمرهایی هستند که در اثر گرما نرم نمی‌شوند .بلکه با افزایش دما ، سخت‌تر و محکمتر می‌شوند و با بالا رفتن بیشتر دما، درجه سختی آنها افزایش می‌یابد. این پلیمرها برای قالب گیری ، درون قالب ریخته می‌شوند و قالب گیری می‌شوند. گاهی ممکن است بعد از فرآیند پلی مریزاسیون نیز همزمان درون قالب انجام شود و بعد از پلمریزاسیون ، پلیمر شکل قالب را به خود می‌گیرد .

2-13-3- الاستومرها

الاستومرها، پلیمرهایی هستند که در اثر نیروی خارجی تغییر شکل پیدا می‌کنند. بعد از حذف نیرو ، تغییر شکل از بین می‌رود و دوباره به حالت اولیه باز می‌گردند. این پلیمرها در اثر گرما ، نرم می‌شوند، ولی برخلاف ترموستها (ترموپلاستیکها) به حالت ویسکوز یا مایع سیال در نمی‌آیند. موقعی که این پلیمرها در اثر حرارت نرم شدند، آنرا با اضافه کردن افزودنی های مورد نیاز در داخل قالب پخت می‌کنند.

2-13-4- قایسه ترموستها ، الاستومرها و ترموست ها از نظر ساختمانی

ترموستها و الاستومرها ، پلیمرهای یک‌بعدی هستند. بنابراین در حلال‌های مرسوم شیمیایی که بسته به نوع ساختمان پلیمر تعیین می‌شود، حل می‌گردند. اما ترموست ها ، جزو پلیمرهای سه بعدی یا مشبک می‌باشند و بنابراین در هیچ حلالی حل نمی‌شوند .

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

۳-۱- نحوه انجماد مواد-نحوه تشکیل ساختمان بلوری و غیر بلوری-فاز ها

در فصل دوم آشنا شدیم که اتم ها با یکدیگر توسط پیوندهای شیمیایی متصل و در فلزات و اکثر سرامیک ها،سلول واحد را بوجود می آورند. سلولهای واحد در جهات X،Y،Z تکرار می شوند(ساختمان بلوری) بلور یا دانه ها را بوجود می آورند. معمولاً فلزات و سرامیک ها از تعداد زیادی تک بلور که بصورت نامنظم در کنار هم قرار دارند تشکیل شده اند. این بلور ها با یکدیگر هم جهت نیستند،در نتیجه در محل تماس بلور ها مرز دانه بوجود می آید.

تک بلور های کوچک و مرز بین دانه ها غالبا توسط میکروسکوپ قابل مشاهده اند. ساختار دانه ای که به این وسیله مشاهده می شود،ساختار میکروسکوپ نام دارد.جامد اتی که از چند دانه تشکیل شده باشند، ماده چند بلوری می نامند.خواص مکانیکی این مواد تابع اندازه دانه های آنهاست.

در این فصل خواهیم دید که چگونه اتم ها در کنار یکدیگر قرار می گیرند(ماده جامد می سازند) و به چه صورت از هم جدا می شوند(ماده مذاب) .سپس نحوه انجماد و تشکیل دانه ها بررسی خواهد شد و در پایان به موضوع فاز یا فاز ها و نقش آنها در فلزات و آلیاژ ها را خواهیم پرداخت.

۳-۲- نحوه ذوب شدن مواد

دریک ماده جامد،اتم ها بهم دیگر محکم چسبیده اند و وقتی به این ماده جامد دما داده شود، به حالت مذاب (مایع) در می آید، بدلیل آنکه با دادن دما به جسم،انرژی گرمایی آن بالا می رود. این انرژی به صورت افزایش سطح انرژی جنبشی و پتانسیل اتم های بهم چسبیده بروز می کند. اتم ها حول وضعیت تعادل خود نوسان می کنند و با افزایش دما، دامنه نوسانات بالا می رود. اتم هایی که درسطح جسم هستند، همسایه های کمتری نسبت به اتم های داخل آن دارند، اگر یکی از اتم های سطح بتواند آنقدر انرژی نوسانی پیدا کند که پیوند خود را با اتم های همسایه بشکند، می تواند وارد حالت مایع شود. این عمل را ذوب می نامند. اتم های یک بلور، انرژی نوسانی (یا انرژی گرمایی) یکسانی ندارند، بلکه برخی از اتم ها دارای انرژی زیاد هستند. زمانیکه به جسم دما داده می شود، اتم هایی که انرژی زیاد داشته اند، بیشتر می شوند و از جامد جداشده، وارد ذوب می شوند. با خروج یک اتم پرانرژی از جامد، گرما از منبع خارجی به جامد داده می شود و توزیع انرژی و دمای جسم ثابت می ماند.

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

۳-۳- نحوه انجماد مواد

با خارج شدن دما از ماده مذاب، حالت مایع جای خود را به جامد می دهد. تغییر حالت از حالت مذاب به جامد، منعکس کننده تمایل ماده در رسیدن به پایدار ترین حالت خود است. جسم در حین انجماد، هم حالت مذاب آن در تعادل است و هم حالت جامد آن، با این حال در دماهای پایین تر حالت جامد، حالت پایدار دارد و در دماهای بالاتر حالت مایع حالت پایدار است.

تشکیل دانه ها زمانی که دما از یک ماده مذاب گرفته می شود،(دمای نهان ذوب آزاد می شود) مذاب شروع به انجماد می کند. این فرایند انجماد از نقاطی شروع می شوند که به آن نقاط کانونهای جوانه زنی می نامند. این کانونهای جوانه زنی، ذرات ریز جامد ی هستند که در داخل ماده مذاب در حین انجماد به دو صورت می تواند باشد.

قبل از ادامه نحوه انجماد مواد، لازم است که اصطلاح کانونهای جوانه زنی مشخص شود. اگر مایعی مورد نظر تا نقطه زیر انجماد ش سرد گردد، یعنی به مرحله فوق تبرید برسد، این مایع در شرایط ناپایدار قرار می گیرد که بمحض یافتن سطحی برای جذب اتم ها ی آن منجمد می گردد. تا وقتی که چنین سطوحی یا محل هایی وجود نداشته باشند مایع در حالت فوق تبرید می ماند و منجمد نمی شود. این محل ها را کانون های جوانه زنی می نامند. کانون های جوانه زنی دو نوع میباشند که یکی از این نوع کانونهای جوانه زنی، کانونهای جوانه زنی همگن و نوع دیگر را نا همگن می نامند.

کانونهای جوانه زنی همگن، جامد ریزی هستند که، اتم های تشکیل دهنده شان، اتم های ماده مذاب می باشند. این کانونهای جوانه زنی همگن، از آن اتم های ماده مذاب درست شده اند که در حین کاهش دمای ماده مذاب ، سرعت و نوسانات شان (انرژی شان) کم و کندتر شده است و به هم دیگر پیوند خورده و ذره کوچک و جامد (کانون جوانه زنی همگن) را ایجاد می کنند.

کانونهای جوانه زنی نا همگن به ذرات ریز جامد ی گفته می شوند که اتم های تشکیل دهنده با اتم های ماده مذاب یکی نیستند (در دمایی که اتم های ماده مذاب از هم جداشده اند، اتم های ذرات نا همگن جدا نشده ا ند) به عبارتی ذرات ریز نا خا لصی های داخل ماده مذاب کانونهای جوانه زنی نا همگن به حساب می آیند.

در هنگام انجماد ،گرمای نهان ذوب آزاد می شود و این گرما از ماده مذاب خارج می شود تا عمل انجماد به پایان برسد. جسمی که جامد می شود (فلزات) دانه ها به اشکال مختلف می توانند تشکیل گردد. معمولا اندازه دانه ها و شکل آنها بستگی به سرعت کاهش دما دارد،

Scanned by CamScanner

اگر دمای نهان ذوب،سریع تر به خارج منتقل شود معمولاً دانه ها ریز تر و مختلف الجهت ایجاد می شود. اگر انتقال دما به کندی یا کنترل شده باشد، دانه ها درشت تر تشکیل می شود و حتی می توان جسم تک بعدی ساخت. با توجه به اینکه فرآیند انجماد به یک سری اطلاعات دیگر نیاز دارد (انتقال حرکت و مسائل تر مو دینا میکی) که از حوصله این بحث خارج است، لذا به همین مقدار بسنده می کنیم.

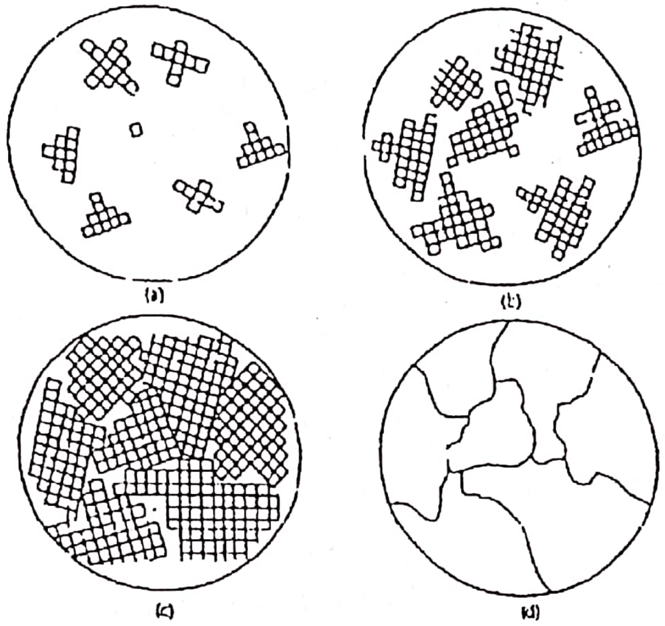
۴-۳- تشکیل دانه ها

هنگام انجماد خصوصاً در فلزات، اولین دانه جامد باید سلول واحد آن فلز باشد. سپس سلول واحد که تشکیل شد، دانه از تکرار آنها ایجاد می گردد. در عمل انتظار می رود که انجماد، سلولهای واحد زیادی هم زمان و مستقل از یکدیگر در نقاط مختلف مایع تشکیل شوند. این سلولهای در جهات مختلف نسبت به یکدیگر قرار دارند. چون سلول های واحد مجاور اولیه هم جهت نبوده اند واضح است که مرحله ای خواهد رسید که رشد منظم دو سلول مجاور به طرف یکدیگر متوقف خواهد شد زیرا اتم ها یک شبکه در طرح هندسی شبکه دیگر نمی گنجد، در نتیجه ماده ای که محل برخورد و شبکه بلورین قرار گرفته با ماده ای که به صورت منظم متبلور شده تفاوت دارد و تشکیل مرزه دانه خواهند داد. اینکه عمل انجماد ، همانگونه که در بخش قبل اشاره شد اساساً از نقاطی که به کانونهای جوانه زنی شهرت دارند آغاز می شود. این محل ها در واقع ذرات ریز جامد هستند که طبق الگوی انجماد رشد می کنند.

اتم هایی کند می توانند به یکدیگر متصل شوند و قطعه جامد کوچکی تشکیل دهند. این قطعه کوچک اتم ها در مایع فوق تبرید ممکن است طی فرآیند انجماد رشد کند یا مجدداً به حالت مایع در آید. اگر ذره جامد ایجاد شده را به صورت کروی شکل فرض کرد و شعاع این کره کمتر از شعاع بحرانی باشد، مجموعه مجدداً ذوب می شود و بعنوان نطفه شناخته می شود. اگر شعاع کره بیشتر از شعاع بحرانی باشد آن را جوانه می نامند و به کانون جوانه زنی معرفی می گردد.

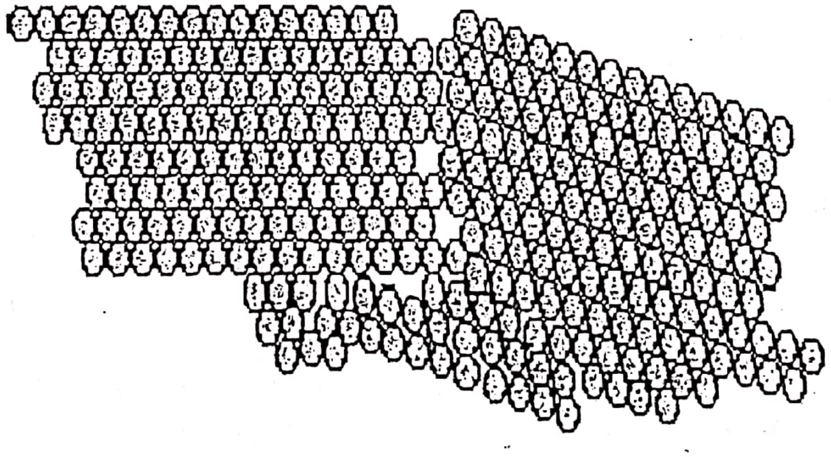
از آنجائیکه سلولهای واحد از یک نقطه شروع نمی شوند،بلکه از نقاط مختلف تشکیل و رشد می کنند(بلور ها با یکدیگر هم جهت نیستند و بطور نامنظم در مجاورت یکدیگر رشد می کنند)و بهم دیگر برخورد می کنند (شکل ۱-۳) هر بلور یک دانه نام دارد .

Scanned by CamScanner



شکل ۱ ـ ۳ نحوه تشکیل دانه ها

محل برخورد و یا تماس دانه ها را مرز دانه می نامند (شکل ۲ ـ ۳) .جسمی که دارای یک دانه یا بلور باشد، ماده تک بلور ی می نامند، و جسمی که دارای دانه و بلور ها ی زیاد داشته باشند، جسم چند بلور ی می گویند. ضخامت مرز دانه ها به اندازه چندین قطر اتم است و درآن قسمت جسم (مرز دانه ها) اتم ها به هم ریخته یا عدم پیوستگی دارند و ضعیف تر از خود دانه یا بلور است.



شکل ۲ ـ ۳

Scanned by CamScanner

@TM_Mechanic

اندازه دانه ها متفاوت است ، ممکن است آنقدر بزرگ باشد که بتوان با چشم غیر مسلح دید و یا آنقدر کوچکتر باشند که بایستی توسط میکروسکوپ مشاهده کرد. اندازه دانه ها را می توان کنترل کرد و در خواص فیزیکی جسم تاثیر دارد. اجسام ریز دانه مستحکم تر از اجسام درشت دانه هستند چراکه مرز دانه مانعی هستند در جلو صفحات لغزش. اندازه دانه ها تابع دو عامل می باشند، یکی سرعت هسته گذاری و دیگری سرعت رشد. هرچه سرعت هسته گذاری بیشتر باشد، دانه ها ریز تر خواهند بود، به همین ترتیب هرچه سرعت رشد بلور کمتر باشد، دانه های حاصله کوچکتر خواهد بود. اندازه دانه ها را می توان از روشهای مختلف بدست آورد که برخی از این روش ها عبارتند از روش خطی، روش پلانیمتری و روش دایره ای.

پاورقی(بلور و دانه هر دو از تعداد سلول واحد درست شده اند و تفاوت این دو (بلور و دانه) در این است که بلور دارای وجوه و سطوح صاف و هموار دارد ولی دانه وجوه صاف و هموار ندارد بخاطر اینکه در حین رشد دانه بر اثر تماس و بر خورد با دانه های دیگر یا یک سطح خارجی دیگر متوقف می شود.)

۳-۵- انجماد مواد بلوری و غیر بلوری

در بخش قبلی از انجماد موادی (فلزات و برخی سرامیک ها) که اتم های نسبتا آزاد در حالت مذاب دارند صحبت شد. به جهت اینکه این نوع مواد دارای اتم های کوچک و پر تحرک دارد می توانستند در حین انجماد خود را به سطح جامد (کلونهای جوانه زنی) برسانند و به یکدیگر متصل شوند، هسته و درنهایت دانه و بلور تشکیل دهند. ولی در برخی از اجسام مانند مواد پلی مری تا حدودی وضعیت متفاوت دارد، لذا ساختمان غیر بلوری تشکیل می شود. توضیح تفاوت این دو نوع ساختمان (بلوری و غیر بلوری) را از نظریه تحلیلی «آشنایی با خواص فیزیکی مواد» استفاده می شود.

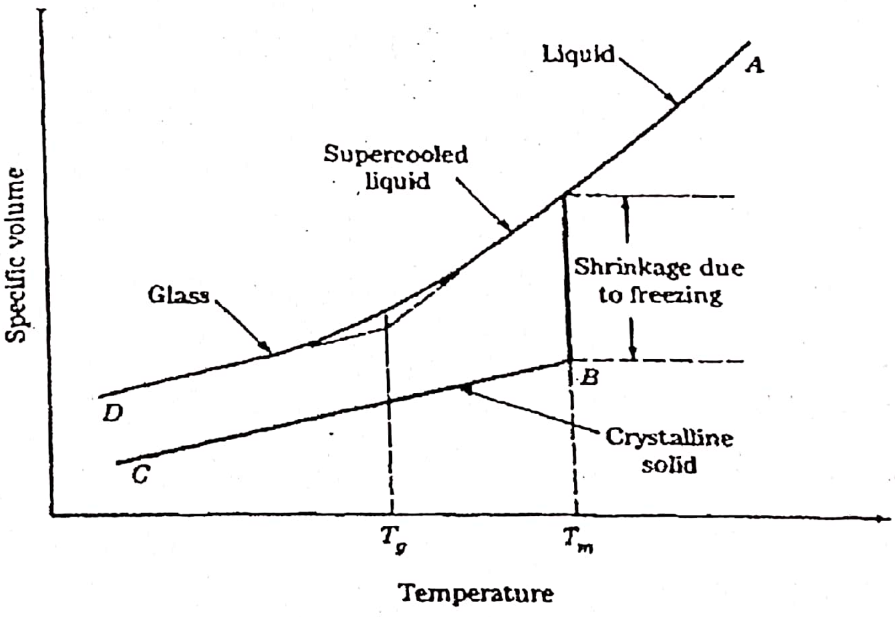
مواد بلوری که اتم های کوچک و تحرک کافی دارند و همچنین انجماد شان در دمای مشخص و معین همراه با آزادی گرمای نهان ذوب انجام می شود، غالبا با کاهش حجم ویژه همراه است ولی ساختمان مواد غیر بلوری بجای اتم های کوچک، مولکول های بزرگتر از اتم ها هستند و در نتیجه تحرک آنها کمتر است. انجماد مذابی که حاوی ملکول های بزرگ دارند طی یکی از دو مکانیزم تبلور یا شیشه ای بی شکل پیدا می کند. برای درک تفاوت بین این دو مکانیزم در کتاب ایزن اشتات بطور جداگانه توضیح داده شده است. در این مرحله به اختصار به آن اشاره می شود.

مذابی در حال سرد شدن را در نظر می گیریم، با توجه به اینکه حجم ویژه به آهستگی و با پائین آمدن دما کاهش می یابد. اثر دما بر حجم ویژه ماده در شکل ۶-۳ ، نشان می دهد که

Scanned by CamScanner

ماده باید یکی از دو مسیر را طی کند. اگر فرض شود که تحرک مولکولها در دمای نزدیک T_m (نقطه ذوب یا انجماد) بسیار پایین باشد و امکان تبلور سریع نیز وجود نداشته باشد. کاهش دما و رسیدن به زیر نقطه انجماد، مایع را به حالت فوق تبرید در می آورد. تحرک مولکولها در حالت فوق تبرید از تحرک آنها در دمای انجماد نیز کمتر است ، زیرا پایین آمدن دما موجب کاهش تحرک می شود. تحرک مولکولی را می توان به گرانروی (وسیکوزیته)مایع مربوط کرد. مایعات گرانرو از تحرک کمی بر خود دارند و کاهش دما موجب افزایش گرانروی می شود. ادامه عمل سرد کردن مایع فوق تبرید یافته تشکیل ماده غیر بلوری را به دنبال دارد. این ماده مانند مایعات دارای ساختار بی شکل است ولی گرانروی زیاد آن موجب می شود که شبیه جامدات رفتار کند. منحنی بالایی در شکل ...در حوالی T_g (دمای تبدیل شیشه) تغییر شیب می دهد. در این دما (T_g) بغیر از تغییر جسم بویژه، تغییرات دیگری نیز در خواص فیزیکی ماده حاصل می شود که در بخش های بعدی توضیح داده می شود.

بعضی پلی مرها نیز هستند که دارای ساختمان بلوری و هم ساختمان غیر بلوری دارند که نحوه انجماد آنها در شکل نشان داده شده است.



شکل ۶ - ۳

Scanned by CamScanner

6-2- فاز و تاثیر آنها برروی مواد

از داخل ساختمان مواد اطلاع داریم که اتم ها سلول واحد، سپس سلولهای واحد ها، دانه و نهایتا دانه ها، فاز یا فاز ها را به وجود می آورند.

فاز به یک منطقه همگن، قابل تمیز فیزیکی که توسط وسیله مکانیکی بتوان از هم جدا کرد، گفته می شود. به عبارت دیگر می توان گفت که اگر یک منطقه یا یک قسمت ماده از یک نوع اتم تشکیل شده باشند، فاز گفته می شود. این فاز ها در داخل مواد می تواند جدا از هم باشند و یا داخل یک بلور یا دانه باشند. فاز با حرف یونانی ?و ?و? و غیره نشان داده می شود. به لحاظ اینکه اکثر موادی که در صنعت کاربرد دارند، خالص نیستند ، بلکه دارای عنصرهای خارجی (اضافی) دارند. لذا مواد مهندسی می توانند دارای چند فاز باشد. برای بررسی بیشتر فاز ها و تاثیر آنها در مواد مهندسی از نقش عنصرهای اضافی شروع می کنیم.

فقط تعداد محدودی از مواد مهندسی هستند که به حالت خالص تهیه و استفاده می شوند، چون مواد خالص استحکام مناسبی جهت استفاده در صنعت را ندارند. بدین دلیل پالایش و جدا کردن عنصرهای اضافی از عنصر اصلی اقتصادی نیست. لذا در صنعت مواد یا به صورت آلیاژ و یا به صورت مواد مرکب تولید و استفاده می شوند. این نوع مواد(آلیاژ یا مواد مرکب) دارای دو یا چند عنصر هستند و می توانند یک یا چند فاز داشته باشند.

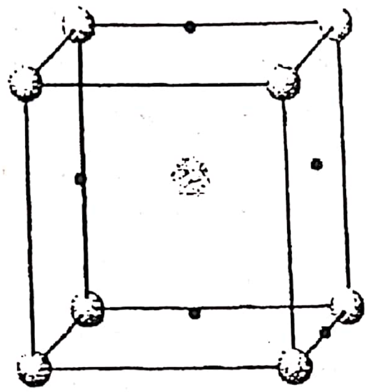
زمانی که یک عنصری به عنصر دیگر اضافه شود،دو نوع تغییر اساسی مختلف ممکن است پدید آید. یکی اینکه اتم های عنصر اضافه شوند (دومی) با عنصر اصلی (اولیه) محلول جامد تشکیل می دهند و تغییر دیگر اینکه، اتم های عنصر اضافی تشکیل فازجدید می دهند.

1-6-2- محلول جامد

اگر عنصر اضافی (دومی) در داخل عنصر اصلی حل شود، محلول جامد تشکیل می شود. بنابراین محلول جامد، بر اثر افزایش یک یا چند عنصر اضافی(محلول) در داخل عنصر اصلی (حلال) و تشکیل یک فاز ایجاد می گردد. با توجه به اینکه در داخل سلولهای واحد فضای خالی وجود دارد و اندازه اتم های عناصر متفاوت است، محلول جامد دو نوع می باشند، یکی محلول جامد بین نشین و نوع دوم، محلول جامد جانشینی نام دارد.

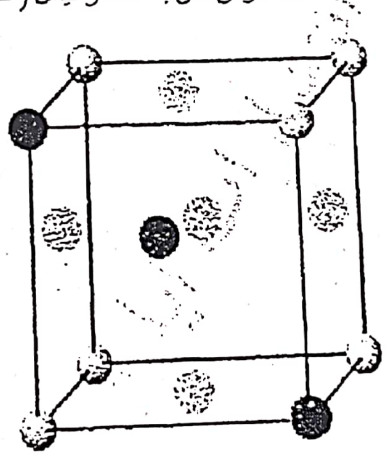
محلول جامد بین نشین زمانی ایجاد می شود که اندازه اتم های عنصر اضافی (محلول) کوچکتر از اتم های عنصر اصلی باشند و بتوانند در فضای خالی بین اتم های عنصر اصلی(حلال) یا در داخل سلول واحد عنصر اصلی به صورت نامنظم و اتفاقی قرار گیرد مانند اضافه کردن عنصر کربن در داخل عنصر آهن (شکل ۷ - ۳) .

Scanned by CamScanner



شکل ۷ - ۳ محلول جامد بین نشین

در محلول جامد جانشینی،اتم های عنصر محلول جای یک یا چند اتم عنصر حلال را در ساختمان،شبکه بلور ی (سلول واحد) بگیرد. در این صورت نیز جایگزینی به صورت اتفاقی و نامنظم می باشد مانند اضافه کردن مس به عنصر نیکل (شکل ۸ - ۳).



شکل ۸ - ۳ محلول جامد جانشینی

برای تشکیل محلول جامد بین نشینی کافی است که اتم های عنصر محلول کوچک باشد، مثل اتم های عنصر های کربن،هیدروژن،نیتروژن و بتوانند در فضای خالی بین اتم های عنصر اصلی یا در داخل سلول واحد عنصر اصلی به صورت نا منظم و اتفاقی قرار گیرد.

ولی برای تشکیل محلول جامد جانشینی ،عوامل زیر موثرند:

الف- اختلاف بین قطر های عنصر محلول و حلال بیشتر از ۱۵ درصد نباشد.

ب- ساختار بلور ی دو عنصر(محلول و حلال) مشابه باشد (هر دو یک نوع سلول واحد داشته باشند)

Scanned by CamScanner

ج- در جدول تناوبی نزدیک هم باشند (از لحاظ الکترونگاتیو)

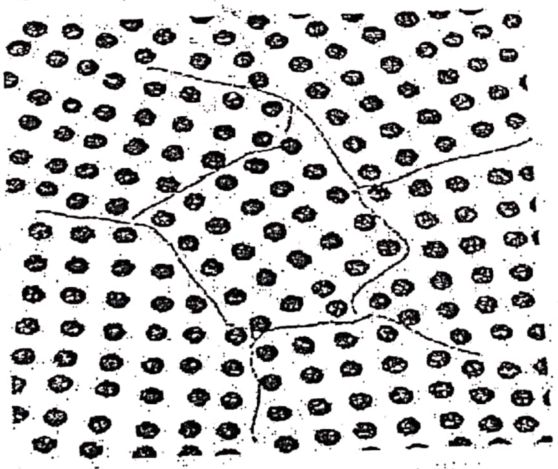
باید خاطرنشان شود که وقتی محلول جامد تشکیل می شود، فاز تغییر پیدا نمی کند و با همان حرف (الفبای) یونانی نشان داده می شود که برای عنصر اصلی استفاده می شود.

۲-6-۳- فاز جدید

اگر به هر دلیلی (اندازه اتم ها یا سلولهای واحد بزرگتر باشند، اختلاف چگالی بیشتر یا اختلاف دمای ذوب زیادتر باشد عنصر اضافی در داخل عنصر اصلی حل نشود یعنی اتم های عنصر دومی در داخل سلول واحد عنصر اصلی یا جایگزین اتم های عنصر اصلی نشوند .اتم های عنصر اولیه یک فاز و اتم های عنصر اضافی، فاز دیگری(جدیدی) تشکیل می دهند. مانند ، اضافه کردن عنصر سرب به داخل فلز مس، به دلیل اینکه اتم ها و سلول واحد سرب بزرگتر از مس است، این دو عنصر در حین تشکیل آلیاژ مس، دو فاز ایجاد می کنند. اتم های مس فاز اصلی و اتم های سرب فاز جدید را به وجود می آورند.

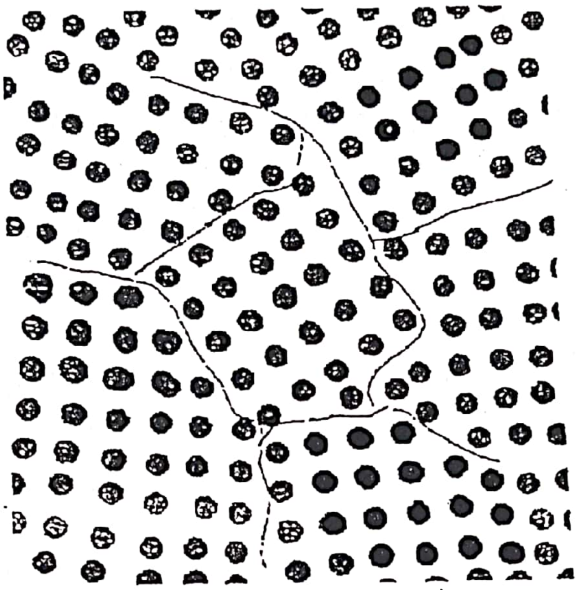
اگر فاز جدید در آلیاژی ایجاد شود که ساختارش با ساختار عنصر های اصلی و اضافی متفاوت باشد.چنین فاز ی را فاز بینابینی یا واسطه ای می نامند.

نقطه قابل توجه، ماده ای که یک فاز داشته باشد،جسم تک فاز ی (شکل ۹ - ۳) و مواد ی که دو یا چند فاز داشته باشند چند فاز ی نامیده می شوند (شکل ۱۰ - ۳). مواد تک فاز ی (محلول جامد) دارای قابلیت انعطاف پذیری بیشتری دارد و آسانتر شکل داده می شود، درحالی که یک ماده دو یا چند فاز ی،معمولا سختی و استحکام زیادی دارد.



شکل ۹ - ۳ شبکه چند دانه و تک فاز

۱- ماهیت فازها
۲- مقدار فازها
۳- اندازه فازها
۴- شکل فازها
۵- [illegible]
۶- [illegible] فازها



شکل ۱۰ - ۳ ساختمان چند دانه و چند فاز

ساختارهای مواد که بیشترین استحکام ،سختی و مقاومت در برابر سایش را دارند که متشکل از دو یا چند فاز ند. بطور کلی خواص یک ماده بستگی دارد به ماهیت ،مقدار ،اندازه،شکل،نحوه توزیع و سمتگری(امتداد رشد فاز ها ی مختلف که دران قرار دارد. هر کدام از عوامل فوق را می توان با فرآیندهای گوناگون تغییر و در نتیجه خواص مواد را بهبود ساخت، بعنوان مثال اگر در ماهیت فاز ها تغییری صورت گیرد،روی استحکام کلی مواد تاثیر بسزایی دارد یعنی:

در ماهیت فاز ها ، هر کدام از عنصرهای تشکیل دهنده تاثیر دارند یا مقدار فاز ها در یک موادی که وجود دارند،اهمیت دارد. همچنین اندازه فاز ها اگر کوچک یا بزرگ باشند اثر می گذارد.(فاز ها اگر کوچک و ریز باشند، مواد استحکام زیادتری نسبت به موادی که فاز های درشت و بزرگ دارند.

هر قدر شکل فاز ها کوچک و کروی باشند و این فاز های کوچک و کروی شکل بصورت یکنواخت (نحوه توزیع) در زمینه پخش شود روی خواص تاثیر می گذارد.

دلیل اینکه برای درک بیشتر این مطلب،بایستی اطلاع از روش های کنترل ساختار های چند فاز ی ضروری است و اینکه چرا فاز های کوچک تا نا خالصی ها در بهبود و استحکام مواد تاثیر دارند، ادامه مطلب را مزکول می کنیم به بعد از بررسی نمودار فاز ی.

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

فصل ۴

۱-۴- نواقص یا عیوب در بلور ها

بلور ها تا این مرحله (در قسمتهای قبل) با حالت ایده آل و بدون هیچ گونه عیب یا نقصی بررسی می شد تا اینکه بتوان خواص غیر حساس نسبت به ساختمان را تشریح کرد و برای درک بهتر خواص حساس نسبت به ساختمان لازم است که عیوب بلور ها و انواع آنها را مورد توجه قرار بدهیم.بنابراین تشریح خواص حساس نسبت به ساختمان تا اندازه زیادی به شرح رفتار این عیوب بر می گردد.

جدول۱-۲ – خواص حساس و غیر حساس به ساختمان

غیر حساس به ساختمان	حساس به ساختمان
ثابت های الاستیکی	هدایت الکتریکی
نقطه ذوب	خصوصیات نیمه هادی
چگالی	تنش تسلیم
گرمای ویژه	استحکام شکست
ضریب انبساط حرارتی	استحکام خزش

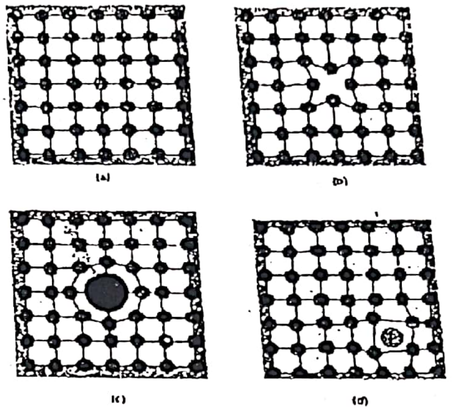
همانطور که در جدول ۱-۲ عنوان شده است،عملا تمام خواص مکانیکی حساس به ساختمان هستند.بدلیل پیشرفتهای اخیر در فهم رفتار مکانیکی مواد وجود عیوب میتوان برشمرد.

عموما به هر گونه انحراف در شبکه بلور ی را عیب می گویند. زمانیکه این انحراف از حالت ایده آل و منظم شبکه به چند اتم محدود باشد آنرا عیب نقطه ای می گویند.حال آنکه اگر این عیب یک منطقه میکروسکوپی را در بر گرفته باشد، آنرا عیب شبکه ای می نامند.به جهت اهمیت این موضوع در این بخش به انواع و اقسام این عیوب می پردازیم.

۲-۴- عیب نقطه ای

شکل a-1 -۴ یک شبکه بلور ی ایده الی را نشان می دهد. اگر عیب در این شبکه محدود به چند اتم باشد، این نوع عیب را عیب نقطه ای می نامیدند. عیب نقطه ای از ساده ترین عیب ها محسوب می شود، با این حال تاثیر چشمگیری بر خواص مکانیکی و نفوذ ماده دارد. عیب نقطه ای را می توان به ۵ صورت زیر بیان کرد که معمولا سه تای آنها در فلزات و دو تای دیگر در سرامیک ها ایجاد می شوند.

Scanned by CamScanner

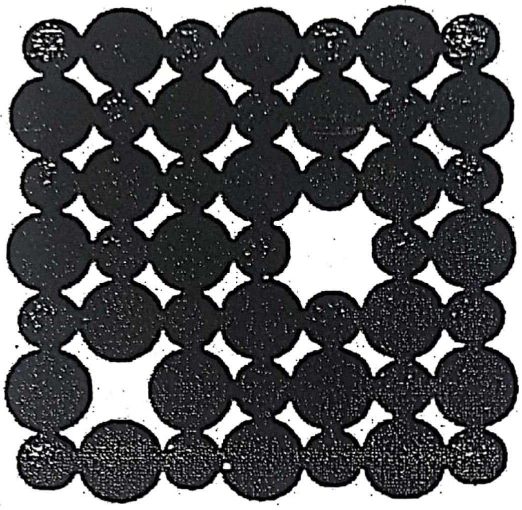


شکل ۱ـ ۴ – عیب نقطه ای جا خالی (b)، بین نشین و نا خالصی (c و d)

ه ـ عیب شاتکی

این نوع نقص در بلور ها ی یونی دیده می شود و ناشی از ایجاد یک جفت جای خالی آنیونی و کاتیونی است.این امر بدلیل خنثی بودن بار الکتریکی صورت می گیرد (شکل ۲ـ ۴).

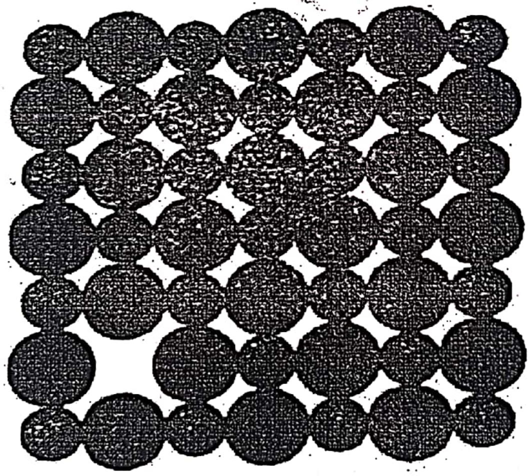
Scanned by CamScanner



شکل ۲-۴ – عیب نقطه ای شاتکی

و- عیب فرانکل

این نقص شامل یک جای خالی همراه با یک اتم بین نشین است. هنگامی که یک یون از یک نقطه شبکه به یک فضای بین نشین جهش کند یک جای خالی بجای می گذارد (۴-۴).



شکل ۴-۴ – عیب نقطه ای فرانکل

۳-۴- عیب شبکه ای

Scanned by CamScanner

عیب شبکه ای عیبی است یک منطقه میکروسکوپی را در برگیرد گفته می شود. این عیب به دو دسته تقسیم می شود. یکی از آن عیب شبکه ای را عیب خطی و دیگری را عیب سطحی یا صفحه ای می نامند.

عیب خطی را بدین جهت خطی می نامند که به صورت یک خط یا شبکه ای دو بعدی در بلور گسترش می یابد ولی عیب سطحی یا صفحه ای از تجمع عیوب خطی دریک صفحه ناشی می شود. مرز های دانه، عیب چیده شدن بین دو ناحیه فشرده از بلور و یا نواحی دو قلویی از این نوع عیوب بشمار می روند. با توجه به اینکه عیب سطحی از تجمع عیوب خطی و همچنین تاثیر عیب خطی در خواص مواد بیشتر به چشم می خورد، ابتدا عیب خطی توضیح داده می شود.

۱-۲-۴- عیب خطی یا نا بجا نیها

عیب خطی که به صورت یک خط یا شبکه ای دو بعدی است، نا بجا نی می نامند و در امتداد یک خط در شبکه بلور ی دیده می شود. نابجانی، یکی از مهمترین عیب خطی است که پدیده لغزش به واسطه آن صورت می گیرد و همین پدیده است که در اغلب مواد، باعث تغییر شکل پلاستیکی می گردد. این عیب در اجسام اصلاح شده در حدود 10 الی 10 بر سانتی متر مربع است و در اجسام غیر اصلاح شده به حدود 10 خط نابجانی بر سانتی مترمربع می رسد. مهمترین نابجانی ها عبارتند از:

الف - نابجایی لبه ای،

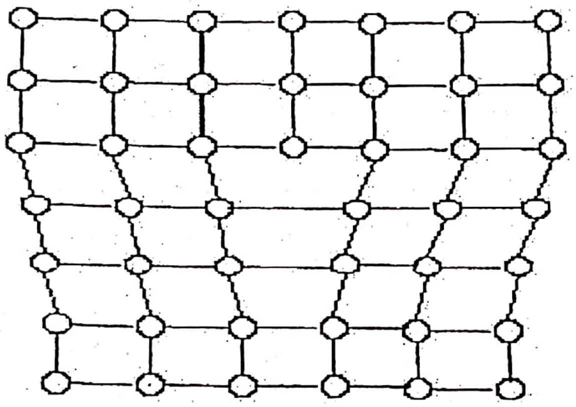
ب- نابجایی پیچی و

د – نابجایی مختلط.

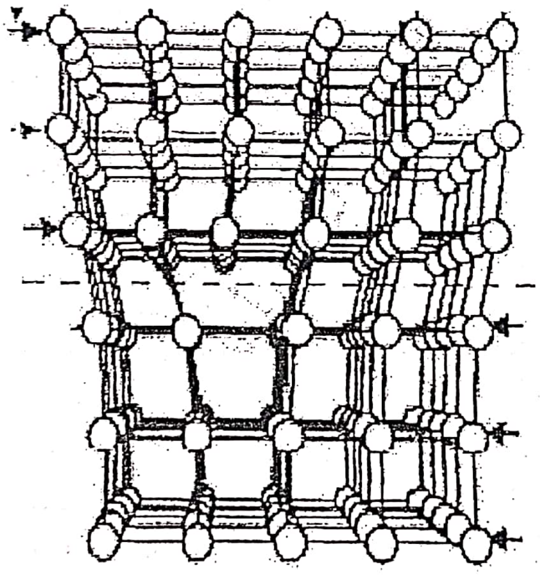
به جهت اهمیت آنها، در این مرحله به توضیح تک تک آنها می پردازیم.

الف - نابجایی لبه ای

نابجانی لبه ای که ساده ترین نوع نابجانی می باشد با ورود یک نیم صفحه اضافی در شبکه بلور ی مرتبط است. انتهای این نیم صفحه اضافی که بین دو صفحه اتمی از شبکه قرار گرفته است، نابجانی فرض می شود. شکل (۲- ۴) نمایانگر یک نابجانی لبه ای است و همانند عیب های جاهای خالی در حالت تعادل نیستند. ایجاد آنها به انرژی قابل توجهی نیاز دارد که در نزدیکی محل نابجایی در بلور ذخیره می شود. همانگونه که در شکل (۲-۴) مشاهده می شود، فاصله اتم ها در بالای نابجانی کمتر از فاصله تعادل (ثابت شبکه ای)است. به همین ترتیب، فاصله اتم های زیر نابجایی بیشتر از فاصله تعادل است.



(a)



(b)

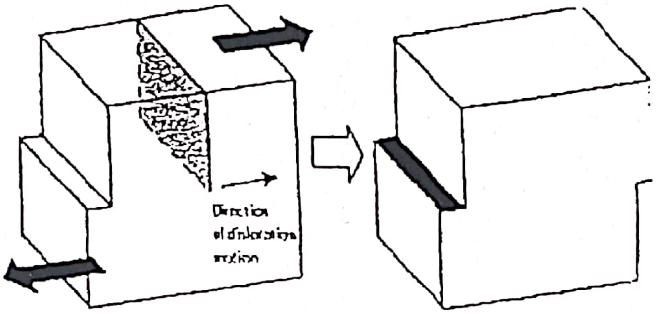
شکل ۳-۴ - عیب خطی دو (a) و سه بعدی (b)

شکل ۴-۴، نابجائی لبه ای لغزش یافته را نشان می دهد، لغزش در جهت بردار لغزش و در قسمت بالای اتفاق افتاده است. مرز بین قسمت راست، قسمت لغزش یافته شبکه، و قسمت چپ که هنوز لغزش نیافته است، نابجائی لبه ای است. توجه شود که قسمتی از شبکه

anned by CamScanner

Scanned by CamScanner

که در بالای صفحه لغزش قرار دارد به اندازه منطقه هاشور خورده (رنگ شده) نسبت به قسمت زیرین در جهت لغزش جابجا شده است. تمام نقاطی که از شبکه که ابتدا در مرتاسر صفحه لغزش بر یکدیگر منطبق بودند، پس از عمل لغزش بهمان مقدار نسبت به یکدگر جابجا خواهند شد.

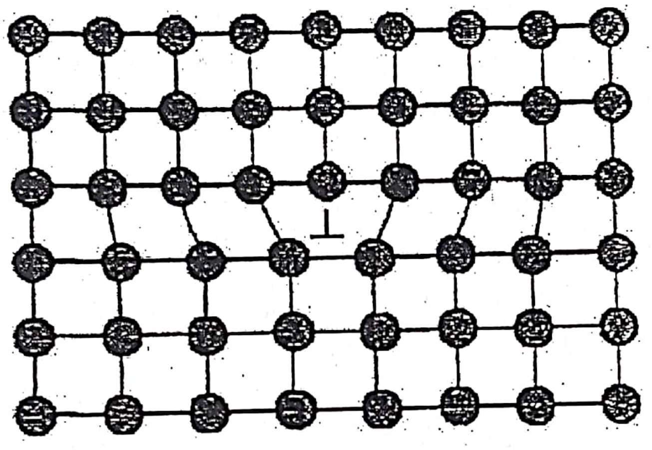


شکل ۴-۴ نابجایی لبه ای

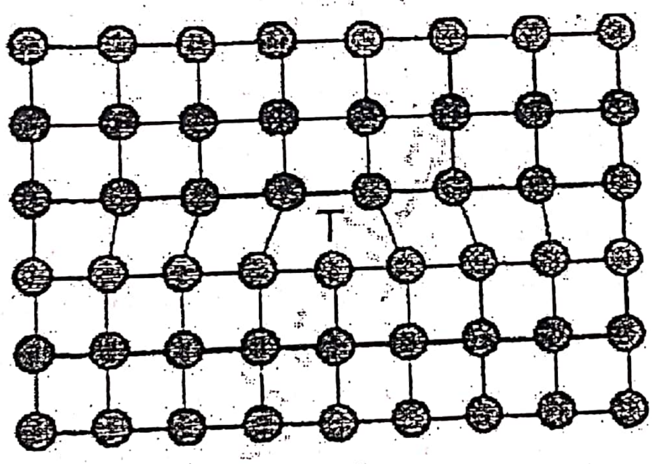
اگر قسمت جلو شکل را با شکل بعدی تطبیق شود، صفحه فوق عمود بر نابجائی لبه ای می باشد. در بالای صفحه لغزش نسبت به قسمت پایین آن یک ردیف اتمی اضافی عمود بر سطح لغزش است. این آرایش اتمی باعث می شود که در بالای صفحه لغزش یک تنش فشاری و در پایین آن یک تنش کششی بو جود می آید. یک نابجائی لبه ای که دارای صفحه اتمی اضافی در بالای صفحه لغزش می باشد ،همانگونه که در شکل قبلی نشان داده شده است. بطور قرار دادی نابجائی لبه ای مثبت نامیده میشود وبا علامت ? مشخص می گردد. اگر صفحه اتمی در زیر صفحه لغزش قرار گیرد ،نابجائی لبه منفی بوده و آنرا با علامت ? نشان می دهند (شکل ۵-۴).

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner



(a)

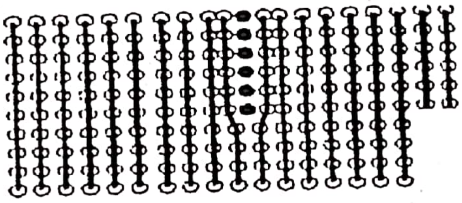


(b)

شکل ۵-۴ نابجایی لبه ای مثبت (a) و منفی (b)

یک نابجایی لبه ای می تواند در جهت عمود بر طول خودش بلغزد ولی اگر سرعت نفوذ اتم ها یا جاهای خالی مناسب باشد، نابجایی لبه ای ممکن است در اثر فرایندی موسوم به صعود حرکتی عمودی داشته باشد. با توجه به شکل ۴-۴، برای حرکت نابجایی به سمت بالا (صعود در جهت مثبت) نیاز به حرکت اتم اضافی در بالای علامت ⊥ و یا اضافه نمودن یک جای خالی در این منطقه می باشد. برای هر فاصله اتمی که نابجایی صعود کند بایستی یک چنین اتمی از جای خود خارج گردد. برعکس، اگر نابجایی به طرف پایین حرکت کند (صعود منفی) اتم ها بایستی اضافه گردند. اتم ها می توانند از صفحه اتمی خارج شوند، و در این صورت اتم اضافی یک جای خالی را در شبکه اشغال کند. برای صعود منفی، اتم ها در

اثر نفوذ اتمی از بلور اطراف که منجر به ایجاد جای خالی در شبکه می شود،به صفحه اتمی افزوده می گردند. از آنجائیکه مکانیزم صعود، مکانیزم نفوذ است ، حرکت اتم ها نسبت به حالت لغزش اهسته تر بوده و احتمال آن،مگر در درجه حرارت های بالا، کمتر می باشد.

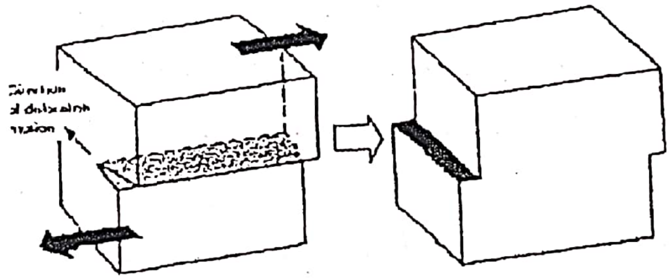


شکل ۶-۴ نظم اتمی در صفحه عمود بر نابجائی لبه ای

ب - نابجایی پیچی

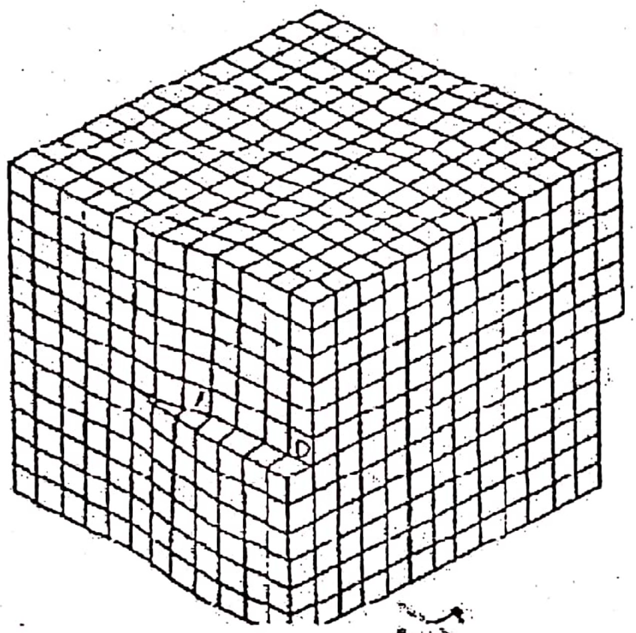
دومین نوع نابجائی ها، نابجائی پیچی نام دارد. لغزشی که یک نابجائی پیچی در یک شبکه ایجاد کرده است در شکل ۷-۴، نشان می دهد. در این شکل قسمت بالای شبکه در سمت راست نسبت به قسمت پائین در جهت بردار لغزش حرکت کرده است.در سمت چپ هیچ لغزشی اتفاق نیفتاده است و لذا خط AD، خط نابجایی می باشد(شکل ۴-۷b).

توجه شود که کمیتی که جهت تعیین مقدار و جهت نابجائی بکار می رود یک کمیت برداری معروف به بردار برزگرز (b) است.در نتیجه بردار برزگرز (b) مهمترین مشخصه نابجائی است.ابتدا لغزش برابر با بردار برگرز می باشد.



(a)

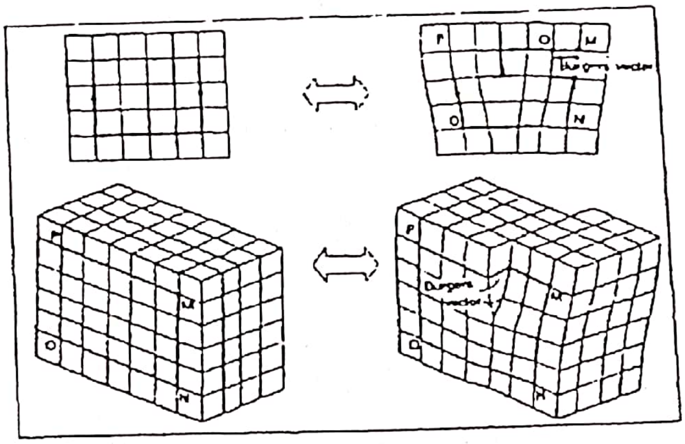
Scanned by CamScanner



(b)

شکل ۴-۷ b و a نابجایی پیچی

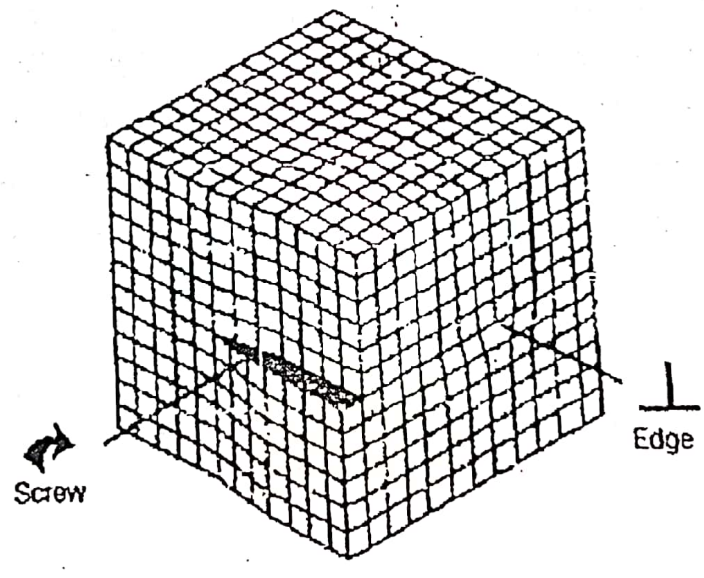
لذا یکی از مهمترین تفاوت نابجائی لبه ای پیچی این است که بردار برگرز در نابجائی لبه ای عمود بر خط نابجایی است ولی در نابجایی پیچی بردار برگرز موازی برخط نابجایی می باشد. این تفاوت برای نابجایی لبه ای و نابجایی پیچی در شکل ۸-۴ نشان داده شده است.در این شکل همانگونه که مشاهده می شود، اگر مسیری در اطراف خط نابجایی به فواصل اتمی مساوی در جهت های قائم و افقی طی شود، برداری که نقطه پایان مسیر را به نقطه شروع وصل می کند، بردار بزرگی می شود و این بردار عمود برخط نابجایی می باشد. ولی در شکل نشان میدهد که پیمودن دور نابجائی، بردار برگرز موازی با خط نابجایی است و مقدار آن برابر گام پیچ است.



شکل ۸-۴

د – نابجایی مختلط

در پایان اینکه نابجاییها به شکلهای لبه ای و پیچی محدود نمی شوند و ممکن است قدری خصوصیات لبه ای و قدری نیز پیچی داشته باشند.این نوع نابجایی ها را مختلط می نامند، همانند شکل ۹-۴ .



Mixed Dislocations

شکل ۹-۴ نابجایی مختلط

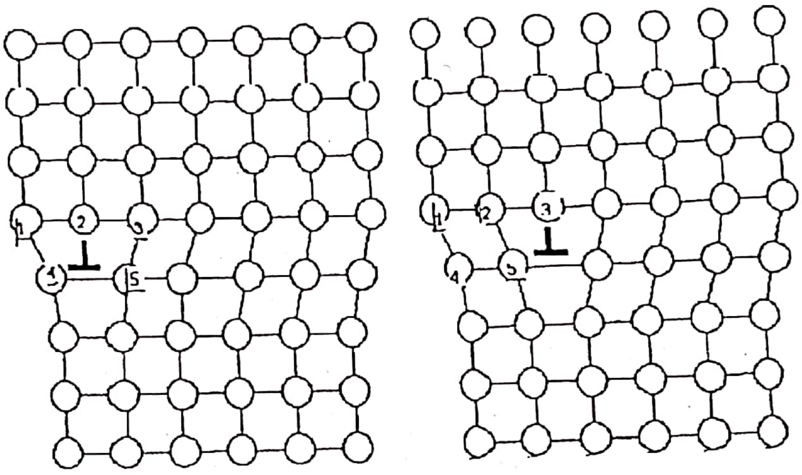
Scanned by CamScanner

۴-۴ مکانیزم لغزش

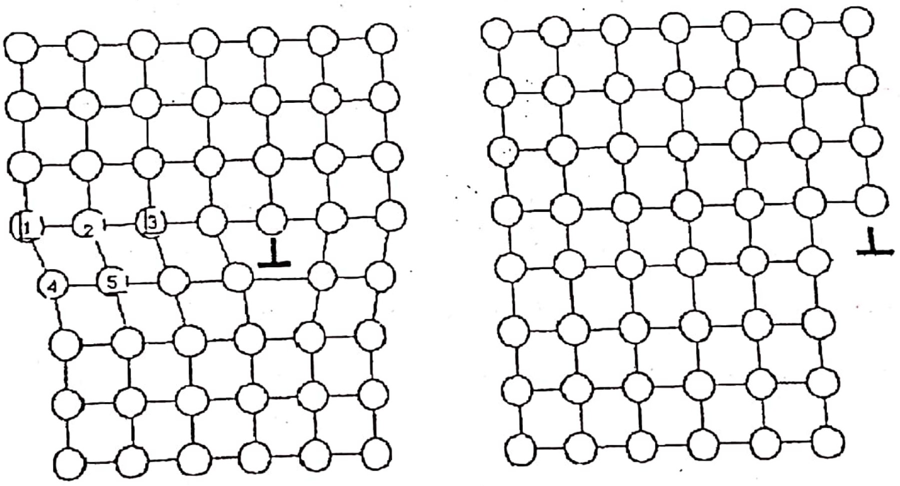
همانطور که در بخش قبل ذکر شد، معمولاً تغییر شکل دایمی در مواد (ساختمان بلوری) بر اثر لغزش صورت می گیرد و لغزش نیز بواسطه نابجایی است، در این مرحله لغزش در اثر نابجایی لبه ای (ساده ترین نوع نابجایی) توضیح داده می شود. شکل a ۱۰-۴ که یک بلور با نابجایی لبه ای نشان داده شده است را در نظر می گیریم. اعمال تنش برشی بر بلور باعث تغییر وضعیت اتم های داخل آن مخصوصا اتم های اطراف نابجایی (۱و۲و۳و۴ و ۵) می شود. تنش برشی وارد شده به بلور باعث می شود که اتم شماره 2 به اتم شماره ۵ نزدیک و در همین حال اتم های ۲ و ۵ از هم دور شوند.اگر تنش برشی از یک مقدار بحرانی تجاوز کند، ببینید بین اتم های ۲ و ۵ قطع و پیوند بین اتم های ۲و۵ متصل می گردد وضعیت نمایش داده شد (در شکل c ۱۰-۴) بو جود خواهد آمد. به عبارت دیگر نیم صفحه اضافی یک فاصله اتمی به جلو لغزیده است. قابل ذکر است که انرژی لازم برای جدا کردن پیوند (پیوند بین اتم های 2و۵) قدری بیش از انرژی آزاد شده در اثر کاهش فاصله متصل اتم های ۲ و ۵ است. این تفاوت از کار انجام شده توسط تنش برشی تامین می شود.افزایش تنش برشی اگر از این مقدار تجاوز کند. نیم صفحه اضافی یک فاصله اتمی دیگر به جلو حرکت (لغزش) خواهد کرد.این حرکت با افزایش تنش ادامه می دهد تا از سطح بلور خارج شود (10b- 4)، حرکت نابجایی یا نابجایی ها فقط در مواردی به سطح جسم می رسد که ماده خالص و تک بلور باشد. با توجه به اینکه مواد به صورت خالص استفاده نمی شود وجود ندارد. و مواد مهندسی غالبا دارای چند بلور(دانه) و چند فازی هستند، نابجایی ها در ناخالصی ها،مرز دانه ها و فاز های جدید متوقف می شود و تا سطح جسم نمی توانند حرکت کنند. یکی از دلایل بالا بودن استحکام مواد چند بلوری و چند فازی همین نقطه است.

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner



(a)



(b)

شکل ۱۰-۴ لغزش حاصل از حرکت نابجائی

نابجائی ها در داخل جسم فقط دریک حالت خاص ممکن است که از بین بروند وان زمانی است که یک نابجائی مثبت ؟ و منفی T بهم برسند. دریک حالت دیگر مکن است به عیوب نقطه ای تبدیل شوند، در غیر اینصورت در داخل جسم، جلو موانع (نا خالصی ها

Scanned by CamScanner

،مرز دانه ،فاز های جدید و غیره ..)متوقف و تکثیر می شوند تا تغییرات (تغییر شکل دایمی) بعدی را تامین کنند.

۵ ــ ۴ تکثیر نابجایی ها

تعداد نابجایی ها در ماده جامد انعطاف پذیر آنقدر زیاد نیست که تغییر شکل دایمی آنرا در تنش های و رای تنش تسلیم توجه کند.این امر نشان می دهد که یا نابجایی در حین تغییر شکل ایجاد می شود و یا الگوی نابجایی درست نیست.مشاهدات با میکروسکوپ نشان می دهد که چگالی نابجایی دریک ماده بلورین هنگام تغییر شکل دایمی افزایش می یابد.بنابراین باید منبعی درون ماده وجود داشته باشد.فرانک ــرید روشی جهت تولید نابجایی از نابجایی های موجود ارائه نموده اند که به منبع فرانک ــرید موسوم می باشد.

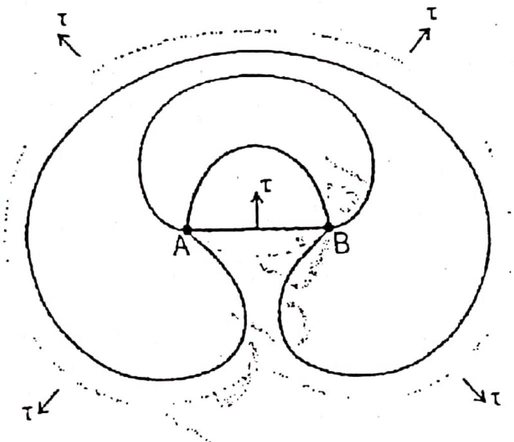
مکانیزم پیشنهاد شده برای تکثیر نابجایی ،منبع فرانک ــرید بدین است یک خط نابجایی AB که در صفحه لغزش قرار دارد را در نظر می گیریم .همانند شکل .. در این شکل صفحه لغزش همان صفحه کاغذ می باشد.خط نابجایی در نقاط AB از صفحه لغزش خارج شده و در نتیجه در این نقاط بدون حرکت خواهد بود.بی حرکت شدن نابجایی در نقاط AB می تواند ناشی از برخورد نابجایی واقع بر صفحه کاغذ و نابجایی های واقع بر سطوح لغزش دیگر در این نقاط باشد،ولی در این حالت ممکن است در اثر حضور اتم های نا خالصی نیز اتفاق بیافتد.

اگر تنش برشی ح در امتداد صفحه لغزش اعمال شود خط نابجایی در جهت تنش قوس برداشته و منجر به لغزش می شود.به ازای یک تنش معین خط نابجایی شعاع انحنای مشخصی که،از رابطه زیر($Z ? \frac{Gb}{ZR}$) بدست می آید خواهد داشت.برای اینکه قوس خط نابجایی به شکل نیم دایره در بیاید بیشترین مقدار تنش برش لازم است در این صورت R حداقل مقدار خود L/2 را خواهد داشت.

پس از اینکه حالت حلقه بدست آمد، قوس آن افزایش پیدا کرده و حلقه نابجایی در حالیکه تنش رو به کاهش است به گسترش خود ادامه می دهد. با رسیدن حلقه نابجایی به حالتی که در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است، دو قسمت حلقه به هم رسیده و یکدیگر را از بین می برند به نحوی که در نهایت یک حلقه بزرگ و نابجا جدید AB تشکیل خواهند شد. پس از این حالت (شکل ها،حلقه می تواند با افزایش تنش برشی به گسترش خود ادامه داده و قسمت AB

Scanned by CamScanner

در وضعیتی قرار می گیرد که فرآیند گذشته دوباره تکرار شود.این فرایند دریک منبع واحد می تواند بارها و بارها تکرار شده (شکل ۴-a11b) و در هر بار حلقه نابجایی جدیدی که ایجاد می شود لغزشی به اندازه یک بردار بزرگ در امتداد صفحه لغزش بو جود آورد.ولی این بدان معنی نیست که با شروع به کار یک منبع، گسترش آن بطور نامحدود ادامه خواهد داشت.بلکه تنش برگشتی که در اثر انباشته شدن نابجایی ها برروی صفحه لغزش بو جود می آید در جهت خلاف تنش اعمال شده عمل کرده و زمانی که مقدار آن با تنش بحرانی بدست آمده برابر شود،مانع از عملکرد منبع خواهد گردید.

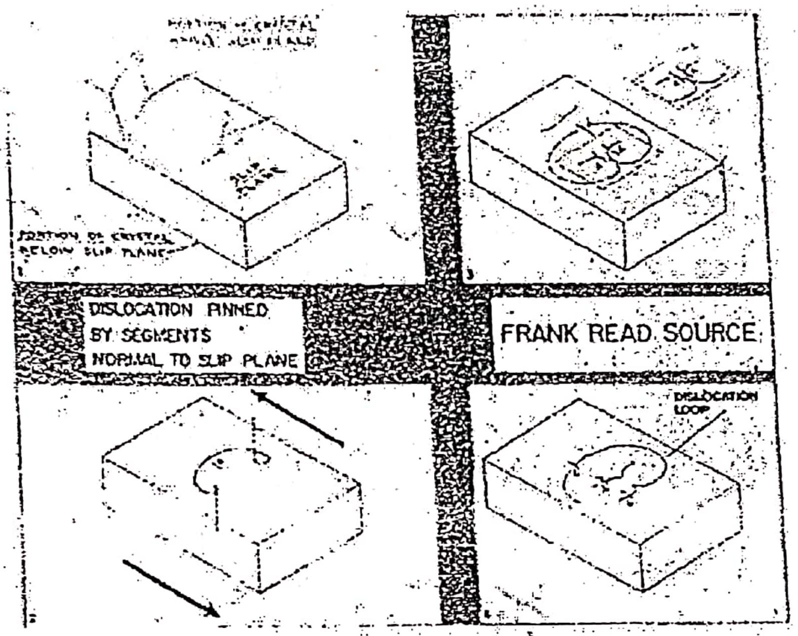


(a)

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner



(b)

شکل ۱۱-۴ نمایش شماتیک عملکرد منبع فرانک - رید

۶ – ۴ انباشتگی نابجائی ها

اغلب نابجائی ها برروی صفحات لغزش و در پشت موانعی از قبیل مرز دانه ها، نا خالصی ها و فاز های جدید یا نابجایی های غیرمتحرک انباشته می شوند. نابجایی هدایت شده به این موانع (انباشتگی) نه تنها تحت تاثیر تنش برشی اعمال شده می باشد، بلکه تحت تاثیر نیرو های متقابل با دیگر نابجایی های واقع در انباشتگی نیز قرار می گیرد. این امر منجر به تمرکز شدید در نابجایی هدایت شده به انباشتگی می گردند. زمانیکه تعداد نابجائی های واقع در موانع افزایش پیدا می کند، تنش اعمال شده بر نابجایی واقع در پیشانی موانع به تنش برشی کریستال در حالت تئوری خواهد رسید. این تنش زیاد ممکن است باعث آغاز تغییر شکل پلاستیک در آنسوی مانع شده و یا در غیر اینصورت می تواند باعث جوانه زنی ترک در محل مانع گردد. نابجایی های انباشته شده در پشت صفحه یک مانع ایجاد یک تنش برگشت می نمایند که جلوی حرکت دیگر نابجایی های،در امتداد صفحه لغزش و در جهت لغزش را می گیرد.

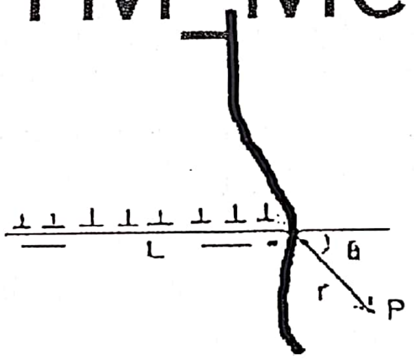
نابجایی ها در مجاورت پیشانی موانع کاملا متراکم بوده و هرچه به منبع نابجایی نزدیکتر می شویم فواصل آنها بیشتر خواهد شد. شکل ۱۲-۴، انباشتگی نابجایی های هم علامت را در پشت یک مانع نشان می دهد. در این ارتباط می توان تعداد نابجایی ها را که در امتداد صفحه لغزش در فاصله L بین منبع و مانع قرار بگیرند از فرمول زیر بدست آورد.

$$n ? \frac{k? Z_s L}{Gb}$$

که در این رابطه Z_s میانگین مولفه تنش برشی در صفحه لغزش و k فاکتوری نزدیک به واحد می باشند.

تعداد نابجایی ها که می توانند در پشت یک مانع تجمع نمانید، به نوع مانع، ارتباط موقعیت، صفحه لغزش و کیفیت ساختمان در محل مانع، جنس و درجه حرارت بستگی دارد. مانع ممکن است در اثر لغزش بر روی صفحه ای دیگر، صعود نابجایی های اطراف مانع یا با ایجاد و تنش های کششی به میزانی که ترک اتفاق بیافتد شکسته شود.

@TM_Mechanic



شکل ۱۲- ۴ انباشتگی نابجایی در پشت مانع

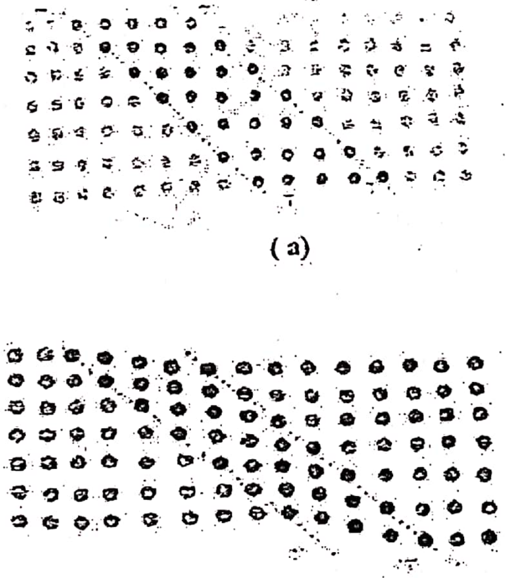
۷ – ۴ دو قلو شدن

تغییر شکل دایمی می تواند طی فرآیند دیگری بغیر از لغزش نیز حاصل شود، این فرآیند را دو قلو شدن می نامند. دو قلویی زمانی ایجاد می شود که قسمتی از شبکه بلور ی نسبت به قسمت دیگر کریستال که دو قلو نشده است در موقعیتی متقارن و مشخص قرار گیرد. قسمت دو قلوئی شده یک شبکه بلور ی مانند تصویر حالت اولیه بلور در یک آینه می باشد. صفحه تقارن بین دو قسمت، صفحه دو قلوئی نامیده می شود. اتم های کم رنگ (آبی)

Scanned by CamScanner

که بیرون صفحه ها (صفحات دو قلو) قرار دارند در حین تغییر شکل، موقعیت خود را نسبت به یکدیگر حفظ می کنند. موقعیت اتم های بین دو صفحه در اثر دو قلو شدن تغییر می کند. اگر تنش روی صفحات دو قلو وارد شود، در اثر تنش، یکی از صفحات دو قلو به موازات دیگری حرکت می کند. شکل ۱۲b – ۴ نشان میدهد که، ناحیه بین صفحات دو قلو (دو صفحه مورب TT به صورت همگن تغییر شکل می یابد، آن قسمت از بلور که خارج صفحات است تغییر شکل پیدا نکرده، ولی نسبت به هم جا به جا شده اند.

در شکل ۱۲- ۴ اتم های کم رنگ سمت چپ صفحات دو قلو پیش و پس از دو قلو شدن در همان ارتفاع، ولی اتم های کم رنگ سمت راست صفحات دو قلو در شکل ۱۹b- ۴ پائین تر از اتم های شکل 13 a - ۴ هستند. شکل هندسی این تصویر طوری است که اتم های داخل (اتم های تیره) ، تصویر آیینه ای هر یک از دو گروه اتم های آبی (کم رنگ) است و صفحات دو قلو به جای آئینه عمل می کنند و نام دو قلو از اینجا ناشی می شود. دو قلو شدن در شبکه های bcc و fcc، که در دمای های خیلی پائین تغییر شکل داده شده اند مشاهده می شود. در مورد شبکه بلوری hcp اهمیت زیادی دارد و در دما اتاق صورت می پذیرد.

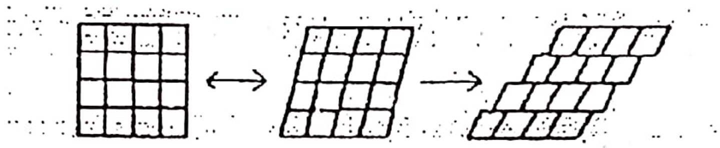


شکل ۱۲ – ۴ تغییر شکل دو قلو شدن (a) بلور بی نقص و (b) تغییر شکل شدن

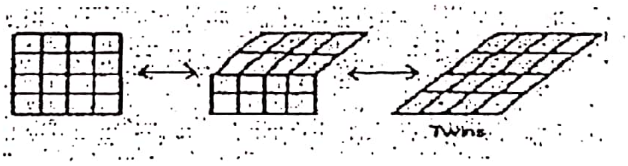
Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

اختلاف اساسی بین لغزش و دو قلو ئی شدن این است که در لغزش تمام اتم ها در دو طرف صفحه لغزش به یک اندازه ثابت حرکت می کنند (a 14- ۴)، در حالی که در مکانیزم دو قلوئی حرکت اتم ها متناسب با فاصله آنهاست (b 14 -۴).



(a)



Scanned by CamScanner

فصل ۵

۱ـ ۵ پدیده نفوذ

نفوذ عبارت است از مهاجرت اتم ها از یک قسمت جسم به قسمت دیگر آن یا انتقال اتم ها از یک جسم به جسم دیگر. این پدیده به دما و زمان بستگی دارد. دما باعث افزایش سرعت اتم ها و زمان عمق نفوذ را زیاد می کند. نفوذ در تمام حالات (گاز، مایع و جامد) مواد صورت می گیرد، با این تفاوت که در حالت گاز و مایع نفوذ، سریعتر ولی در حالت جامد با کندی انجام می شود.

اگر صفحه جدا کننده بین یک ظرف حاوی دو ماده که در شکل ۱ـ ۵ را نشان میدهد در نظر بگیریم، خواهیم دید که بر اثر مرور زمان مولکولهای یا اتم ها بیشتر جابجا و مخلوط می شوند. دلیل آن نفوذ مولکولهای یا اتم های یک ماده به ماده دیگر است. در همین ارتباط اگر مقداری آب و کمی الکل را بدقت و جداگانه در یک لوله استوانه ای بریزیم ، پس از مدتی این دو مایع مخلوط شده و تبدیل به یک محلول مایع می شوند. در حالت جامد نیز، اگر دو قطعه مس و نیکل در کنار یکدیگر قرار گیرند و سپس قطعات را تا دمایی پایین تر از نقطه ذوب مس و نیکل برای مدتی نگه داشته شوند، مشاهده می گردد که اتم های مس به داخل نیکل و اتم های نیکل به داخل قطعه مس نفوذ می کند. این جابجایی اتم ها در شبکه بلور ی توسط پدیده نفوذ انجام می شود و دارای کاربرد ها و آثار مهمی از دیدگاه ماکروسکوپی و میکروسکوپی می باشند.

کاربرد نفوذ زیاد است مانند ساختن قطعات دو لایه فلزی، کربن دهی چرخ دنده ها، تغییرات ساختار داخلی یک جسم، تبدیل ساختمان تک فاز ی به دو فاز ی و برعکس و جوش کاری توسط نفوذ (۲ـ۵).

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

(b)

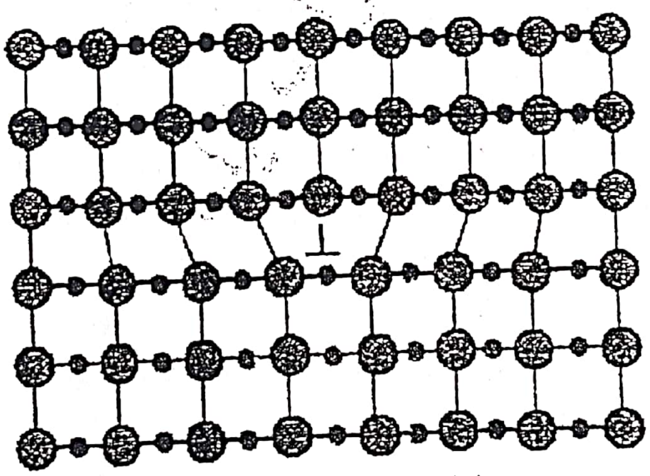
شکل ۱۴ – ۴ تغییر شکل بر اساس (a) لغزش و (b) دو قلوئی

۸ – ۴ حرکت نابجایی ها در سرامیک ها

مکانیزم لغزش در سرامیک ها تا حدودی مانند فلزات است با این تفاوت که در سرامیک ها خنثی بودن بار الکتریکی الزامیست. برای حفظ خنثی بودن الکتریکی لازم است نیم صفحه اضافی در شبکه بلور ی شامل یک صفحه از آنیون ها و یک نیم صفحه از کاتیون ها باشد (شکل ۱۵-۴). با توجه به این در سرامک ها مقدار بردار برگرز فاصله بین آنیون ها است لذا اندازه آن بزرگ تر از فلزات می باشد.

تنش برشی لازم برای لغزش یا تولید نابجایی ها در سرامیک ها نیز بیشتر از فلزات است. این تنش زیاد احتمالا برای ایجاد تغییر شکل دایمی باعث شکست این مواد قبل از رسیدن به تنش تسلیم (سیلان) باشد.

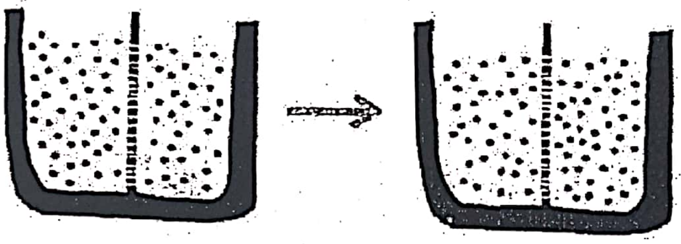
در اکثر سرامیک ها تنش لازم برای لغزش از تنش شکست ترد تجاوز می کند در نتیجه شکست ترد بروز می کند، ولی در برخی موارد ممکن است مختصری تغیر شکل مومسان صورت گیرد و سپس شکست ترد انجام شود.



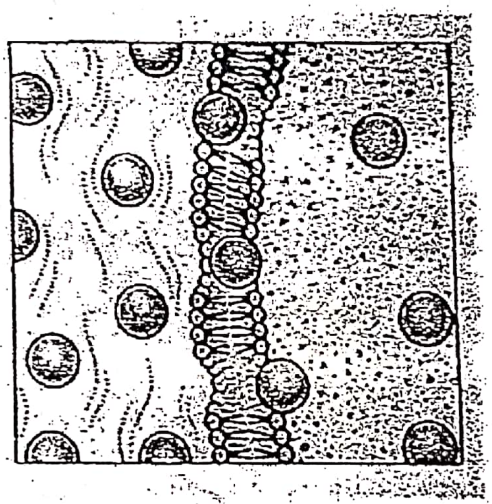
شکل ۱۵ – ۴ شمایی از یک نابجای لبه ای در یک ماده سرامیک

Scanned by CamScanner

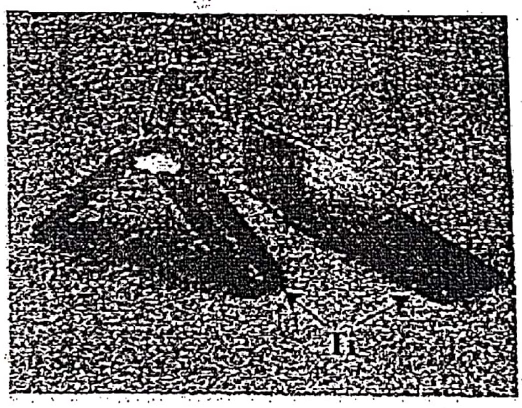
Scanned by CamScanner



شکل a ۱-۵ نفوذ در حالت گاز



شکل b 1-5 نفوذ در حالت مایع



شکل ۲-۵ اتصال Ti و Al توسط پدیده نفوذ

Scanned by CamScanner

۵-۵ مکانیزمهای نفوذ

چندین مکانیزم اتمی برای تشریح نفوذ وجود دارد که همه آنها به انرژی ارتعاشی اتم ها در ماده جامد بستگی دارند. از بین این مکانیزم ها دو نوع آن از اهمیت خاصی برخوردارند که عبارتند از مکانیزم بین نشینی و مکانیزم جانشینی یا حفره ای.

۱-۵-۵ نفوذ بین نشینی

نفوذ بین نشینی در ماده جامدی که دارای دو یا چند عنصر با اندازه شعاعهای متفاوت دارند، بوجود می آید. اتم های بزرگ محلهای شبکه را اشغال می کنند، در حالیکه اتم های کوچکتر در فضاهای خالی که بین اتم های بزرگتری بوجود می آید قرار می گیرند. این امر در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. در این شکل اتم های کوچکتر می توانند از بین اتم های بزرگتر رد شوند و به محلهایی که اشغال نشده اند بروند. اتم های کوچک برای اینکه بتوانند از بین اتم های بزرگتر عبور کنند به انرژی لازم دارند که بتواند اتم های اطراف را کنار بزند. این انرژی از محل انرژی ارتعاشی اتم در حال حرکت تامین می شود. بنابراین نفوذ بین نشینی فرآیندی فعال شونده با گرما است و سرعت آنها نیز قابل محاسبه می باشد.

شکل ۳-۵ نفوذ بین نشین

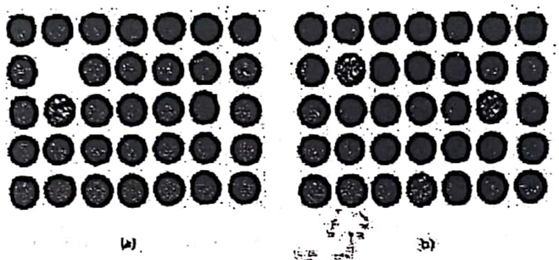
۲-۵-۵ نفوذ جانشینی

این نفوذ می تواند در اثر حرکت اتم به محلهای خالی مجاور صورت گیرد. نفوذ اتم های جانشینی آهسته تر است، چون اتم ها باید یک جای خالی اتمی پیدا کنند تا به طرف آن حرکت کنند و در جای آن قرار بگیرند. جاهای خالی در تمام مواد وجود دارد حتی در تک بلور ها یی که با دقت خیلی زیاد تهیه شده اند. تعداد جای خالی اتمی با افزایش دما زیادتر می شوند. مرز دانه ها و نابجایی ها مسیرهای مناسبی برای این نفوذ می باشند. ضمنا اگر ماده جامد شامل یک عنصر باشد، حرکت اتم خود نفوذی نام دارد.

@smMSV

Scanned by CamScanner

نفوذ جانشینی زمانی انجام می شود که در داخل جسم فضای خالی (حفره) وجود داشته باشد. اطراف حفره یا جای خالی تعداد زیادی اتم احاطه شده است که هر کدام از اینها به شرط بودن انرژی فعال می شوند و می توانند به جای خالی منتقل شوند. شکل ۴-۵ نمایانگر چنین امری است ، در این اشکال امکان حرکت هر کدام از اتم های اطراف جاهای خالی وجود دارد. در نتیجه اتمی می تواند داخل جا خالی شود که زودتر انرژی فعال شدن لازم را بدست آورد.



شکل ۴- ۵ نفوذ جانشینی ، (a) جا خالی و (b) جانشینی

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

فصل ۶

۶-۱ خواص مکانیکی مواد

خواص مکانیکی، موضوعی است که در ارتباط با عکس العمل مواد در مقابل نیروها و فشارها بحث می کند. این نیروها ممکن است در اثر استفاده از مواد به عنوان قطعات یا اجزاء ماشین بر آنها وارد گردند، که در این صورت لازم است تا از محدوده ایکه اجسام بدون اینکه گسیخته شوند نیروها را تحمل می کند اطلاع داشته باشیم. از طرف دیگر ممکن است از یک ماده بر اثر تغییر شکل، جسمی مفید و قابل استفاده درست شود که در آن صورت لازم است از شرایط اعمال نیرو که می تواند ایجاد تغییر فرم دهد، اطلاع حاصل پیدا کنیم. بنابراین اغلب مواد جامد هنگامی که در معرض نیروهای خارجی قرار می گیرند از خود دو نوع رفتار نشان می دهند، یکی از آن را الاستیک یا رفتار کشسان (Elastic behavior) می نامند و دیگری را رفتار پلاستیک (Plastic Behavior) یا تغییر شکل دایمی می شناسند.

۶-۲ رفتار الاستیک و پلاستیک

تجربه نشان داده است که تمام مواد جامد هنگامی که در معرض نیروهای خارجی قرار گیرند،تغییر شکل می دهند. بعلاوه دیده شده است که تا یک حد معینی از نیرو، پس از بر طرف شدن نیروی خارجی، جسم جامد به ابعاد اولیه خود باز خواهد گشت، بازیابی ابعاد اولیه جسم تغییر شکل یافته هنگامی که نیرو برطرف می شود، بنام رفتار الاستیک شناخته شده است، حد نیرویی که بعد از آن دیگر ماده رفتار الاستیک ندارد، به حد الاستیک موسوم می باشد. اگر از محدوده الاستیک فراتر رویم پس از برطرف شدن نیرو جسم یک تغییر فرم دایمی پیدا می کند که این تغییر شکل را تغییر فرم پلاستیک می گویند.

برای بیشتر مواد، مادامیکه نیرو از محدوده الاستیک فراتر نرفته، تغییر شکل متناسب با نیرو است و این ارتباط به قانون هوک معروف می باشد. البته بیشتر اوقات آنرا به صورت تناسب بین تنش و کرنش بیان می کنند. قانون هوک، بیانگر ارتباط خطی بین تغییر فرم و نیرو می باشد، معذالک این بدان معنا نیست که تمام موادی که رفتار الاستیک دارند، ارتباط بین تنش و کرنش درآنها خطی است، مثلا با توجه به اینکه تعریف یک جسم الاستیک در مورد لاستیک (الاستومر ها) صادق می باشد، ولی موادی هستند که ارتباط بین تنش و کرنش در آنها خطی نمی باشد.

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

تغییر الاستیک در فلزات بسیار ناچیز بوده و برای اندازه گیری آن وسایل بسیار دقیقی مورد نیاز می باشد. وسایل فوق العاده حساس نشان داده اند که محدوده الاستیک فلزات بسیار کمتر از مقادیر معمول است که از آزمایشات مهندسی روی مواد نتیجه می شوند. با حساس تر شدن وسایل اندازه گیری محدوده الاستیک نیز کاهش یافته است، لذا برای بیشتر فلزات فقط یک محدوده ناچیزی از نیروها وجود دارد که در آن قانون هوک کاملا صادق می باشد. و این از نظر علمی و آموزشی اهمیت دارد. قانون هوک در طراحی مهندسی کاربرد وسیعی دارد.

۶-۲-۱ کرنش الاستیک

از فیزیک مقدماتی بیاد داریم که اگر به یک سیم وزنه ای آویزان گردد، طول سیم متناسب با باری که به آن آویزان شده است، افزایش می یابد، و نیز پس از برداشتن وزنه، سیم به طول اولیه خود باز می گردد.

از طرف دیگر تنش (stress) یعنی نیروی وارده بر سطح مقطع می باشد. اگر نیروی وارده را F و سطح مقطع سیم را A در نظر بگیریم ، تنش از رابطه زیر بدست می آید.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

که معمولا تنش را با σ و واحد آن نیوتن بر متر مربع (N/m^2) یا پاسگال می باشد. اگر نیروی وارده به صورت فشاری باشد، σ با علامت منفی ولی اگر نیروی F به صورت کششی وارد شود، تنش را با علامت مثبت نشان میدهند.

در همین ارتباط کرنش (strain) یعنی تغییر طول بر طول اولیه سیم که از رابط زیر بدست می آید.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

کمیت کرنش $\frac{\Delta L}{L}$ را با علامت ε و واحد آن طول تقسیم بر واحد طول می باشد.

حال اگر تنش (σ) وارد بر سیم و کرنش (ε) ایجاد شده بر اثر آن را حساب کنیم، رابطه زیر پیدا می شود که به قانون هوک معروف است.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

2

Scanned by CamScanner

در این فرمول E ضریب کشسانی یا مدول یانگ نامیده می شود و واحد آن N/m^2 می باشد. اگر تنش بدقت کنترل شود تا از حد معینی بیشتر نگردد، تغییر شکل اسلما الاستیک یا کشسان و نسبت تنش به کرنش ثابت خواهد بود.

۴-۲-۲ کرنش پلاستیک

اگر به سیمی که در کرنش الاستیک ذکر شد، وزنه بسیار سنگینی آویزان شود، مشاهده خواهد شد که اولا ازدیاد طول سیم بیشتر از اندازه ای است که رابطه $E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$ نشان می دهد و در ثانی وقتی وزنه برداشته شود، سیم به طول اولیه خود باز نمی گردد. بخشی از کل تغییر شکل تحت بار،که پس از برداشتن نیرو از بین نمی رود تغییر شکل پلاستیکی یا دائمی خواهد بود.

۶-۳ منحنی تنش-کرنش

هنگامی که یک میله (استوانه ای شکل) تحت نیروی محوری کششی قرار می گیرد، افزایش مختصری در طول و کاهش مختصری در قطر آن ایجاد می شود. نسبت افزایش طول به طول اولیه را کرنش و می توان آنرا از رابطه مربوطه ($\varepsilon=\frac{\Delta L}{L_0}$) حساب کرد. به همین ترتیب نیروی خارجی اعمال شده تنشی در جهت عمود بر سطح مقطع عرضی میله ایجاد می کند که از فرمول تنش ($\sigma=\frac{F}{A}$) می توان محاسبه کرد.

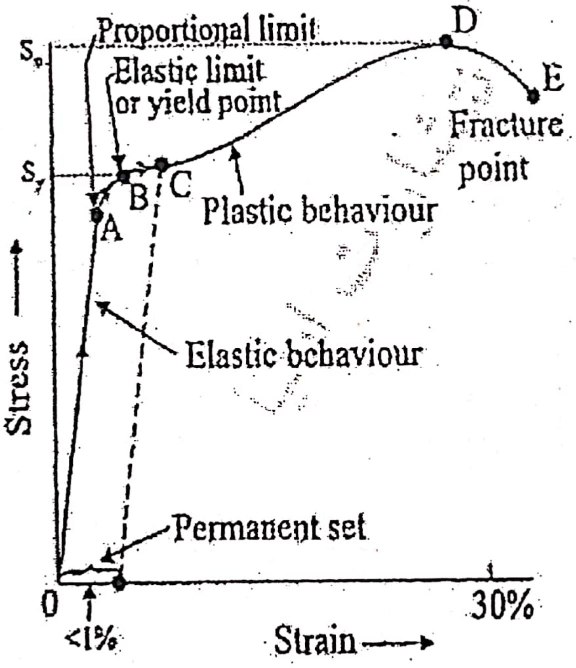
نمونه منحنی تنش -کرنش برای بعضی از مواد در شکل ۱-۶، نمایش داده شده است. قسمت خطی ابتدای منحنی (OA)، ناحیه الاستیک یا کشسان (Elastic behavior) می باشد که از قانون هوک تبعیت می کند. نقطه B حد الاستیک (Elastic limit) را نشان می دهد که بنا به تعریف حداکثر تنشی است که مواد تحمل می کند تا پس از برداشتن نیرو، کرنشی درآن باقی نماند به عبارت دیگر پس از برداشتن بار به حالت اولیه بازگردد. این تنش را تنش تسلیم (yield stress) می نامند (σy). تشخیص حد الاستیک بسیار مشکل است و بستگی به دقت دستگاه اندازه گیری کرنش دارد. منحنی تنش – کرنش برخی از مواد همانند شکل ۲-۶ می باشد که درآن حد الاستیک دقیقا مشخص نیست و بنابراین در این نوع منحنی تنش – کرنش حد الاستیک را معادل ۲/. درصد تغییر شکل دایمی در نظر می گیرند.

Scanned by CamScanner

همچنان که تغییر شکل پلاستیک مواد افزایش می یابد، استحکام آن نیز افزایش پیدا می کند. برای افزایش کرنش مرتبا به نیروی بیشتری نیاز است تا آنکه نیرو به یک حد نهایی می رسد که در شکل ۱-۶ با نقطه D نشان داده شده است و تنش مربوط به آن نقطه را تنش نهایی (Ultimate Tensile Stress) یا UTS و یا حداکثر استحکام کششی (σu) گفته می شود.

در اجسام انعطاف پذیر پس از نقطه D یا همان UTS، قطر نمونه به سرعت کاهش یافته و نیروی لازم برای ادامه تغییر شکل به تبع آن کاهش پیدا می کند تا جایی که نمونه در نقطه E (Fracture point) می شکند.

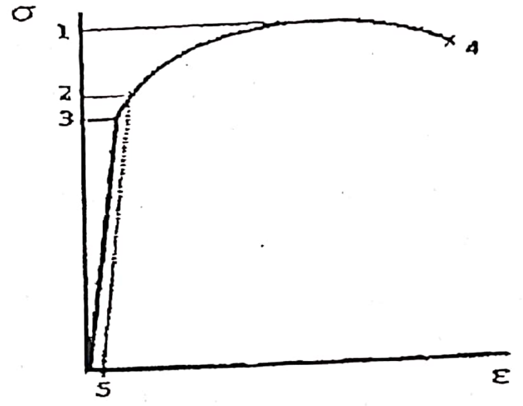
با توجه به چگونگی منحنی تنش-کرنش ،مواد به دو دسته انعطاف پذیر یا چکش خوار (اشکال ۱-۶ و ۲-۶) و ترد یا شکننده (شکل ۳-۶) تقسیم می شوند.



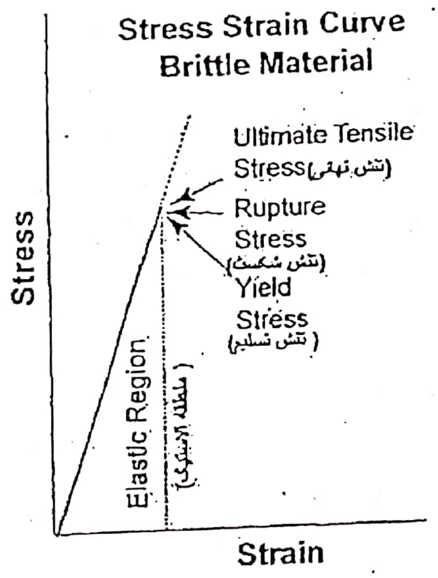
شکل ۱-۶ منحنی تنش و کرنش اجسام انعطاف پذیر

4

Scanned by CamScanner
Scanned by CamScanner



شکل ۲-۶ منحنی تنش و کرنش برخی اجسام انعطاف پذیر



شکل ۳-۶ منحنی تنش و کرنش اجسام ترد یا شکننده

5

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

منحنی تنش و کرنش که از آزمایش کشش بدست می آید بطور گسترده در تعیین خواص مواد مورد استفاده قرار می گیرد که از جمله خواص عبارتند از: مدول یانگ، تنش تسلیم (σy) ، تنش مجاز (σp)، استحکام کشش نهایی (σu)، درصد ازدیاد طول و درصد کاهش سطح مقطع. در این مرحله به معرفی برخی از آنها می پردازیم.

۶-۳-۱ مدول یانگ (مدول الاستیک یا ضریب کشسان)

مدول یانگ که در بخش قبلی معرفی شد و یکی از روابط مهم آن توسط نسبت تنش بر کرنش عنوان گردید، بیانگر میزان صلبیت یک ماده است. هر چه مدول یانگ بزرگتر باشد، کرنش ناشی از یک تنش خاص کمتر و صلبیت ماده بیشتر است. ضریب کشسان (مدول یانگ) در انتخاب مواد نقش مهمی را بازی می کند. اندازه مدول یانگ وابسته به نیروهای نگهدارنده بین اتم ها است و از آنجا که این نیروها تنها با تغییر ساختمان تشکیل دهنده ماده تغییر می کنند، مدول یانگ یکی از ثابت ترین مشخصه های مکانیکی ماده است. این ضریب تنها به مقدار کم بر اثر تغییر نسبت مواد تشکیل دهنده آلیاژ، عملیات حرارتی و سرد کاری تغییر می نماید. با این حال افزایش درجه حرارت مدول یانگ را کاهش می دهد.

۶-۳-۲ تنش یا استحکام تسلیم

از آنجائیکه بدست آوردن حد کشسانی و حد تغییر شکل خطی مشکل است، معمولا استحکام تسلیم به عنوان معیار مناسبی برای شروع تغییر شکل پلاستیک به کار می رود. استحکام تسلیم مهمترین عامل برای طراحی است، اهمیت عبارت ۲/. درصد مقاومت تسلیم، مرز بین کرنش الاستیک و پلاستیک در موادی که نقطه تسلیم مشخصی ندارند، می باشد.

۶-۳-۳ استحکام کششی نهایی

استحکام کششی، شاخص کیفیت ماده است، از این شاخص در طراحی مواد شکل پذیر چندان استفاده نمی شود چون تا زمان فرارسیدن این ظرفیت تحمل بار، ماده تغییر شکل پلاستیکی زیادی داده است. اما شاخص خوبی برای وجود نقص های ساختار است، چون درصورت وجود ناخالصی های نامطلوب یا ترک های ریز، نمونه آزمایشی به این مقدار تنش حداکثر نخواهد رسید و پیش از آن جسم گسیخته یا پاره می شود.

۶-۳-۴ تنش مجاز

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

تنش مجاز در طراحی استفاده می شود و تنشی است که مجاز هستیم به جسم مورد نظر اعمال نماییم. این تنش را از رابطه زیر می توان بدست آورد.

$$\sigma p = \frac{\sigma u}{F.s}$$

ضریب اطمینان (F.s) طبق اعلام نظر انجمن مهندسی مکانیک بین عدد ۱/۵ الی ۳ می باشد. ضریب کمتر از ۱/۵ خطر شکست در اجسام ترد را باعث و امکان تغییر شکل دایمی در اجسام انعطاف پذیر را در پی دارد. ضریب بالا تر از ۳ نیز اقتصادی نیست.

۶-۳-۵ درصد ازدیاد طول

این پارامتر برای اندازه گیری انعطاف پذیری مواد، مورد استفاده قرار می گیرد و برای فلزات با قرار دادن سطوح شکسته شده قطعه آزمایش در کنار یکدیگر و اندازه گیری طول جدید بین علامت اثرها بدست می آید. درصد ازدیاد طول از رابطه زیر بدست می آید.

$$\text{در صد ازدیاد طول} = \frac{Lf - Lo}{Lo} \times 100$$

درصد ازدیاد طول در نقطه گسیختگی یا شکست مواد، استفاده مفید زیادی دارد. این عامل شاخص بهتری از استحکام کششی است چون اگر نا خالصی یا خلل و فرج و حفره هایی در ساختمان ماده وجود داشته باشد.کاهش می یابد .همچنین حاصل ضرب ازدیاد طول و استحکام ، شاخصی است برای قابلیت جذب انرژی درصورتیکه سرعت کرنش کم باشد.

۶-۳-۶ درصد کاهش سطح مقطع

درصد کاهش سطح مقطع عبارت است از نسبت کاهش سطح مقطع نمونه تحت آزمایشی در لحظه شکست به مساحت مقطع اولیه آن که به درصد بیان می شود.

$$\text{درصد کاهش سطح مقطع} = \frac{Ao - Af}{Ao} \times 100$$

این پارامتر نیز مقدار جذب انرژی یک ماده را بیان می کند.

۶-۳-۷ قابلیت ارتجاع

قابلیت ارتجاع توانایی مواد در جذب انرژی به هنگام تغییر شکل الاستیک و بازگشت آن پس از بار برداری را نشان می دهد. مدول ارتجاعی بیانگر این خاصیت است و به عبارتی نشانگر انرژی کرنشی مورد نیاز واحد حجم برای رساندن تنش جسم از صفر به تنش تسلیم می باشد.

Scanned by CamScanner

کمیت های فوق الذکر را که میتوان از آزمایش کششی و در نتیجه از منحنی تنش - کرنش بدست آورد.

۴-۶ تغییر شکل الاستیکی تک بلور ها

چون از نظر خواص مکانیکی، بلور ها کوچکترین واحد های مواد بلور ی هستند، برای درک رفتار این نوع مواد در مقابل نیرو های مکانیکی باید تک بلور هایی را تهیه و تحت آزمایش های مورد نظر قرار داد. مطالعات انجام شده نشان میدهد که رفتار یک تک بلور تابع یک سری عوامل است. این عوامل عبارتند:

- نوع شبکه بلور ی،
- نیرو های بین اتمی،
- فاصله های بین صفحات مختلف اتمی و
- تراکم اتم ها در صفحات مختلف.

در تغییر شکل الاستیکی هیچگونه تغییر مکان نسبی دائمی بین اتم ها صورت نمی گیرد. تنها تغییر مکان حاصله پیچیده بسیار مختصر سلول ها ی واحد است (شکل ۴-۶)، ولی موقعیت نسبی اتم ها ثابت مانده و هیچ اتمی همسایه خود را از دست نمی دهد. کرنش تقریبا متناسب با تنش است چون تغییر مکان دائمی صورت نگرفته و پس از بر داشتن تنش شبکه به شکل و اندازه اولیه خود بر می گردد.

(a) (b) (c)

شکل ۴-۶ تغییر شکل در اثر بار گذاری (a) بدون بار (b)، کششی و (c) برشی

8

۶-۵ تغییر شکل پلاستیکی تک بلور ها

در حرارت های معمولی تغییر شکل پلاستیکی تک بلور ها طی پدیده کاملا متفاوتی صورت میگیرد، زیرا صفحات مجاور اتم ها نسبت به یکدیگر تغییر مکان دایمی میدهند. اثر خالص این تغییر شکل دایمی مانند حالتی است که در اثر لغزاندن مختصر ورقه های کاغذ بر روی هم در یک دسته کاغذ بو جود می آید، ولی تفاوت فراوانی در مکانیزم ایجاد آن وجود دارد. آزمایش ساختمان اتمی بلور های مواد بلور ی نشان میدهد که اتم ها بر روی صفحات متفاوت قرار دارند. میتوان تعداد زیادی صفحات در جهات گوناگون را بطوری از شبکه های بلورین گذرانید که مرکز اتم ها بر روی این صفحات واقع شوند. فاصله های بین این خانواده های صفحات مختلف بسیار متفاوت است.

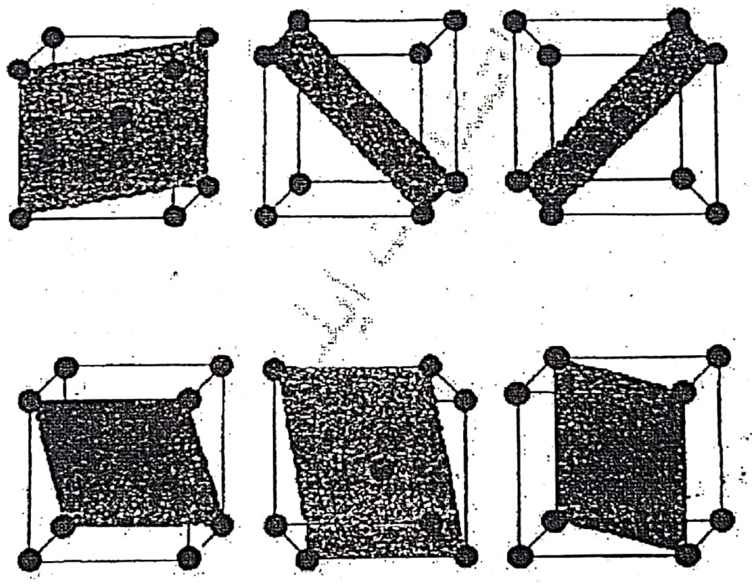
تراکم اتم ها در صفحاتی که شبکه بلورین را با زوایای مختلف قطع می کنند متفاوت است. تعداد صفحات با بیشترین تراکم در انواع شبکه های مختلف با یکدیگر تفاوت داشته و تراکم اتم ها در آن صفحات یکسان نیست. تغییر شکل دایمی در جهت صفحاتی که دارای بیشترین تراکم اتمی و بیشترین فاصله بین دو صفحه مشابه متوازی باشند راحت تر انجام می شود. دلیل این امر را میتوان از شکل ۵-۶ مشاهده نمود. تراکم اتم ها در صفحه های A و A' بیشتر از صفحات B و B' است. در نتیجه برای اینکه صفحه بتواند بر روی صفحه B' بلغزد لازم است که اتم ها حرکت جانبی نیز انجام دهند . منتهی لغزش صفحه A بر روی صفحه A' بدون این اشکال صورت می گیرد (بدون حرکت جانبی) .

همانگونه که در شکل ۶-۶ (a)، (b) و (c) نشان داده شده است، صفحات پر تراکم اتمی در فلزات با ساختمان B.c.c بیشتر از تعداد صفحات متراکم اتمی در فلزات دارای ساختمان F.c.c است (شش صفحه در مقابل چهار صفحه). ولی چون میزان تراکم اتمی در صفحات متراکم فلزات F.c.c بالاتر است، شکل پذیری این دسته فلزات بیشتر می باشد. اضافه شود که در فلزاتی که ساختمان H.c.p دارند فقط دو صفحه پر تراکم اتمی وجود دارد (صفحات قاعده) و با اینکه هر کدام از این صفحات دارای سه جهت لغزش هستند شکل پذیری کمتر از فلزات B.c.c و یا F.c.c است .

Scanned by CamScanner

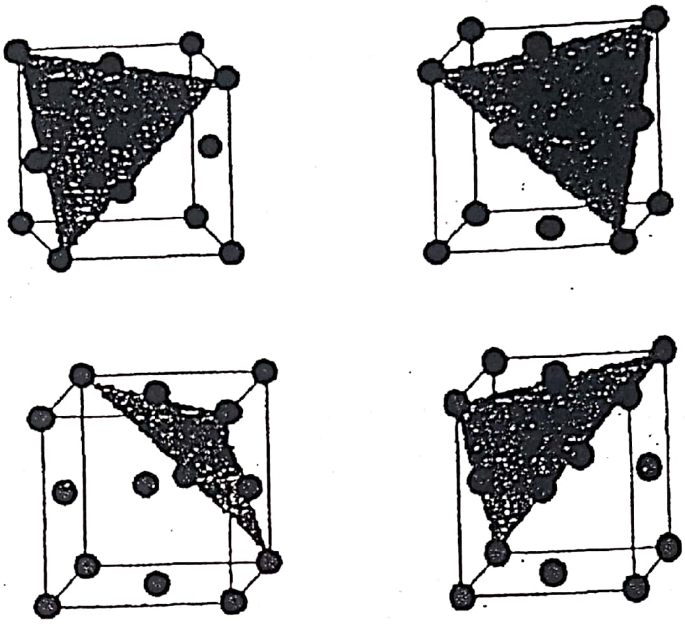
Scanned by CamScanner

شکل ۵-۶ تمایش مقاومت بیشتر در مقابل لغزش در طول صفحاتی که تراکم اتمی کمتری دارند به علت نیاز به حرکت جانبی (خطوط آبی صفحات پر تراکم و خطوط قرمز کم تراکم اند).

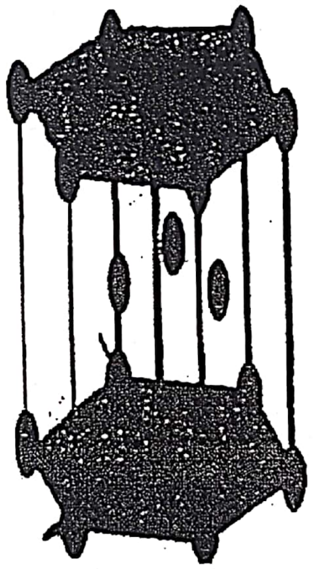


شکل ۶-۶ (a) صفحات لغزش با تراکم اتمی در B.c.c

10



شکل ۶-۶ (b) صفحات لغزش با تراکم اتمی در F.c.c



شکل ۶-۶ (c) صفحات لغزش با تراکم اتمی در H.c.p

۶-۶ تغییر شکل پلاستیکی در فلزات چند بلور ی

معمولا اغلب فلزات به صورت چند بلور ی هستند و بکار می روند . تغییرات در داخل هر بلور یک جسم چند بلور ی درست طبق آنچه گفته شد می باشد ، ولی چون در شبکه

های بلورین تمام بلور ها در یک ردیف نیستند ، تغییر شکل چنین جسم مرکبی در اثر نیروی خارجی حاصل مجموع تغییر شکل بلور ها در جهات مختلف است . بدلیل اینکه در اجسام چند بلور ی مرزی بین بلور ها مختلف وجود دارد ، لغزش یک بلور در بلور دیگر ادامه نمی یابد و مرز بین بلور ها مانع ادامه لغزش می شود . به همین دلیل موادی که دارای دانه های ریز تر هستند استحکام و سختی بیشتری دارند . علاوه بر این ضربه پذیری آنها نیز به میزان قابل توجهی بالاتر است .

۶-۷ سختی (Hardness)

سختی معیاری از مقاومت ماده در مقابل تغییر شکل دایمی است یا به زبان دیگر می توان گفت مقاومت در برابر نفوذ یا فرورفتگی تعریف می شود.

سختی یکی از خواص مهم مواد خصوصا فلزات محسوب می شود که نمایانگر مقاومت در برابر سائیدگی، خراش، بریدگی و شکل گیری می باشد. برای بدست آوردن سختی اجسام با توجه به شرایط آزمایش روشهای مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد که متداولترین آنها عبارت است :

الف- سختی اثر گذاری

ب - سختی خراشی

ج - سختی دینامیکی

د - سختی میکروسکوپی

هریک از روشهای فوق کاربرد مورد نظر خود را دارند، گرچه گاه برای اندازه گیری سختی یک ماده بیش از یک روش ممکن است بکار برده شود. برای آشنایی بیشتر با روشهای سختی نیبی در زیر تشریح آنها پرداخته می شود .

الف - سختی اثر گذاری

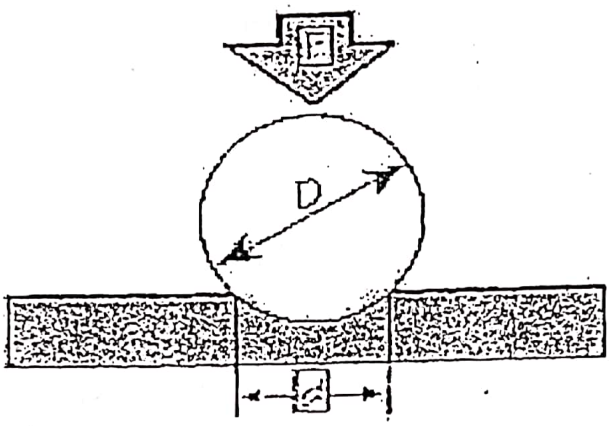
سختی اثر گذار، دارای فرو رونده یا اثر گذار هایی میباشد که توسط فرو بردن آنها سختی اجسام اندازه گیری می شود. متداول ترین آن شامل روش برنیل، ویکرز و راکول می باشد. این روشها فرورزنده ای دارند که دارای شکل معین و تحت بار خاص برروی سطح جسم (خصوصا فلزات) فشار داده می شود و با اندازه گیری ابعاد محل افزایش جسم، عدد سختی، تعیین می گردد.

۶-۷-۱ روش برینل (BHN)

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

در روش برنیل فرو رونده دارای شکل کره (ساچمه) و جنس آن از فولاد سخت می باشد. و عدد برنیل از رابطه زیر محاسبه می گردد (شکل ۶-۶).



$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

شکل ۷-۶ روش برینل

در این روش بار اعمال شده بستگی به جنس ماده دارد (برای مواد نرم نیروی وارده کم و برای اجسام سخت بار اعمال شده زیاد)، قطر ساچمه (فرو رونده)۱۰mm و۴و2 و مدت زمان اعمال بار بین ۱۰ الی ۱۵ ثانیه است.

۲-۷-۶ روش ویکرز (VHN)

روش سختی سنجی ویکرز دارای فرو رونده هرمی شکل با مربع القاعده است که زاویه بین وجوه مقابل ۱۳۶ درجه می باشد و جنس آن الماس است (شکل ۷-۶). محل اثر در این روش به صورت یک مربع است . اقطار مربع اندازه گیری می شوند، مساحت وجوه هرم (تشکیل شده برروی سطح جسم) محاسبه می گردد. عدد سختی حاصل تقسیم بار اعمال شده به این سطح است.

اگر دو قطر مربع قاعده را اندازه گیری و متوسط آنها را d (برحسب mm) بنامیم مساحت وجوه را می توان از رابطه زیر بدست آورد.

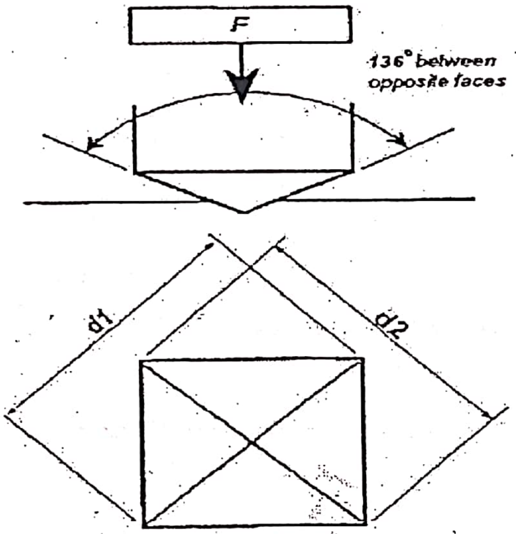
$$\text{مساحت وجوه} = \frac{d^2}{1/8544}$$

بدین ترتیب سختی ویکرز از رابطه زیر محاسبه می شود.

Scanned by CamScanner

فرمول

که در این رابطه F بار اعمال شده می باشد.

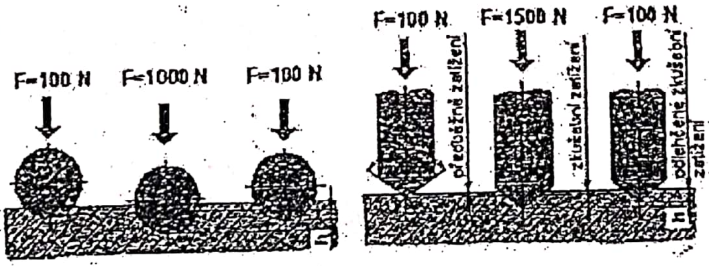


شکل ۸-۶ روش ویکرز

مزیت روش ویکرز عبارتند از اندازه گیری سختی های خیلی زیاد و همچنین اندازه گیری سختی یک ناحیه خیلی کوچک نسبت به روش برینل که اثر بزرگتری روی نمونه می گذارد.

۳-۷-۶ روش راکول

در روش راکول دو نوع فرو رونده بکار می رود که یکی از آنها مخروطی شکل با نوک الماس و دیگری کروی شکل از جنس فولاد (۸-۶). در روش راکول بجای اندازه گیری مساحت محل اثر، عمق آن اندازه گیری می شود و مستقیما از صفحه مندرج دستگاه خوانده می شود.



14

شکل ۹-۶ روش راکول

روش راکول خود به ۵ دسته A،B،C،N و T تقسیم می شوند که اگر سختی جسمی با هر یک از روشهای فوق اندازه گیری گردد به ترتیب عدد حاصل با R_A و R_B و R_C و R_N و R_T نشان داده می شود. جدول ۱-۶ انواع مختلف سختی راکول را نشان می دهد. در روش راکول ابتدا فرو رونده تحت یک بار اولیه برروی سطح نشرده می شود. سپس بار اصلی اعمال می گردد و در نهایت موقع اندازه گیری عمق اثر، بار اصلی برداشته می شود و تنها بار اولیه باقی می ماند.

ردیف	روش	شکل فرو رونده	بار اولیه	بار اصلی	موارد استفاده
۱	A	مخروط نوک الماس با زاویه رأس ۱۲۰°	۱۰	۵۰	فلزات سخت
۲	B	ساچمه فولادی با قطر ۱/۵۸	۱۰	۹۰	مواد نرم
۳	C	مخروط نوک الماس با زاویه رأس ۱۲۰°	۱۰	۱۴۰	فولادهای سخت شده
۴	N	مخروط الماس با زاویه رأس ۱۲۰°	۳	۱۲یا۲۷یا۴۲	سختی سنجی سطحی فلزات سخت
۵	T	ساچمه فولادی با قطر ۱/۵۸	۳	۱۲یا۲۷یا ۴۲	سختی سنجی سطحی فلزات نرم

ب- سختی خراشی

این نوع سختی که شامل سختی کافی یا موهس (MOhs) و موهان سختی می باشد و نحوه سختی سنجی در این روشها به صورت زیر تعیین می شود.

در روش سختی کانی یا موهس چند ماده معدنی با سختی های متفاوت با استفاده از مقیاس موهس (Mohs) شماره گذاری شده اند که نرم ترین آنها تالک با عدد سختی یک و سخت ترین آنها الماس با عدد سختی ۱۰ در نظر گرفته می شود. حال کافی است ماده معدنی استاندارد را بر روی سطح نمونه مورد آزمایش بکشیم با ادامه دادن این روش عدد سختی ماده مورد آزمایش بین دو عدد استاندارد مشخص می شود. این مقیاس را اغلب کانی شناس ها استفاده می کنند که ده عدد سختی استاندارد در جدول ۲-۶ نشان داده شده است.

ردیف	نام کانی	عدد سختی استاندارد	ردیف	نام کانی	عدد سختی استاندارد
-۱	تالک	۱	-۶	فلدسپات	۶
-۲	گچ	۲	-۷	کوارتز	۷
-۳	کالیست	۳	-۸	یاقوت کبود	۸
-۴	فلوریت	۴	-۹	یاقوت سرخ	۹
-۵	آپاتیت	۵	۱۰	الماس	۱۰

روش سوهان سختی کاملا شبیه روش سختی کانی است با این تفاوت که سوهانهای استاندارد شده مورد استفاده قرار می گیرد. مزیت این روش آسان و ارزان بودن آن است.

ج- سختی دینامیکی

در این روش فرو رونده که شکل ساچمه دارد از ارتفاع معینی به سطح جسم پرتاب می گردد و با استفاده از میزان انرژی جذب شدن و ارتفاع برگشت فرو رونده (ساچمه) سختی اندازه گیری می شود.این روش برای فلزات بکار برده نمی شود.

د- سختی میکروسکوپی

این روش همانند روشهای اثرگذار است با این تفاوت که ابعاد فرو رونده و مقدار بار اعمال شده کوچک می باشد. نام دیگر این روش نوپ (knoop) می باشد و برای سختی سنجی اجسام ظریف یا سطوح کوچک کار برد دارد. جنس فرو رونده الماس می باشد.

۸-۶ سرد کاری یا سخت شدن بر اثر کار مکانیکی (کار سختی)

در قسمت های گذشته به منحنی تنش – کرنش و سختی اشاره شد. حال برای اینکه با کار سختی بیشتر آشنا شویم بر می گردیم به منحنی مذکور. فرض کنید میله ای فلزی را تحت

Scanned by CamScanner

تنش قرار دهیم تا به نقطه A روی منحنی، خیلی بالاتر از نقطه تسلیم (psi ۵۰۰۰۰) ولی پایین تر از استحکام کششی برسیم (شکل ۱۰-۴). حال بار را از روی نمونه بر می داریم و آن را از ماشین خارج می کنیم (نمونه را) و به شخص دیگری می دهیم تا مقاومت تسلیم آن را اندازه گیری کند. مقداری که این شخص بدست می آورد، به جای psi ۵۰۰۰۰ چیزی بیشتر از psi ۸۰۰۰۰ است. (شکل b ۱۰-۴) این پدیده را می توان با توجه به این نکته که پس از برداشتن بار از روی نمونه منحنی روی خط AA' بر می گردد و در هنگام وارد کردن دوباره تنش نیز روی همین خط بالا می رود بررسی کرد .

در این آزمایش ها یعنی با وارد کردن تنش تا بعد از ناحیه کرنش الاستیک، روی صفحاتی که دارای سمتگیری مناسبند لغزش انجام می شود و همراه با آن نا بجایی تولید می شود و حرکت می کند. اما هرچه لغزش بیشتر انجام میشود، نا بجایی ها به یکدیگر برخورد کرده، تجمع می کنند و ساختار پیچیده ای به وجود می آورند. بدین دلیل، ادامه لغزش مشکل تر می شود. این پدیده به صورت صعود منحنی تنش – کرنش نمایان می شود. یعنی با ادامه عمل، برای ایجاد کرنش بیشتر، تنش بیشتری لازم می شود .

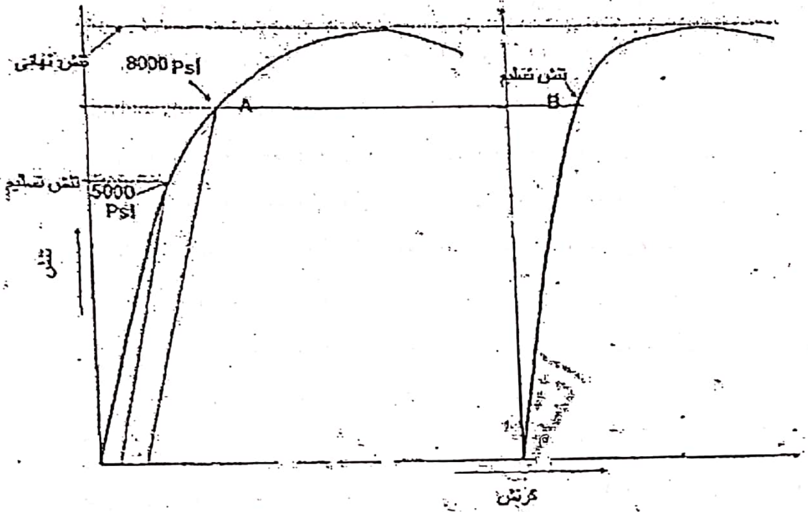
این عمل نشان می دهد که وقتی به نقطه A در شکل a ۱۰-۴ می رسیم، تمام صفحات و نا بجایی های مناسب برای لغزش آسان، مصرف شده اند و وقتی بار را بر می داریم ، تغییری در این وضعیت پیدا نمی شود. بنابراین وقتی دوباره بار وارد می کنیم ، تا زمانی که تنش به نقطه A نرسد ، هیچ کرنش پلاستیک صورت نمی گیرد . فقط کرنش الاستیک خواهد بود و مقاومت تسلیم نیز به همین نسبت بالاتر می رود . این پدیده کار سختی یا سخت شدن بر اثر کرنش یا سرد کاری نامیده می شود .

خب ، به طور طبیعی اگر بخواهیم مقاومت تسلیم را بر اثر کار سختی بالا ببریم ، لازم نیست قطعه را در ماشین کششی قرار دهیم . زیرا طبق استدلال فقط لازم است لغزش در قطعه صورت بگیرد و این عمل (لغزش) تحت تنش فشار نیز به همان طریق انجام می شود که تحت تنش کششی صورت می گیرد . بنابراین از روش مختلفی می توان استفاده کرد تا کار سختی صورت بپذیرد و همچنین می توان ترتیبی داد که قطعه نیز شکل نهایی خود را بگیرد . این روش ها عبارتند از چرخشی یا چرخشکاری (spinning) که در آن یک ورق فلزی دوّار به وسیله یک ابزار خاص روی یک شابلن فشار داده می شود . فرجینگ قرار یا آهنگری سرد ، ساچمه زنی ، نورد سرد میله یا ورق ، اکستروژن سرد و غیره می توان نام

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

برد. در همه روش ها درصد سرد کاری به صورت $\frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$ ، که همان درصد کاهش مساحت در آزمایش کشش است، تعریف می شود. در تمام این موارد قطعه بر اثر سرد کاری مستحکم می شود و قطعه سخت می شود .



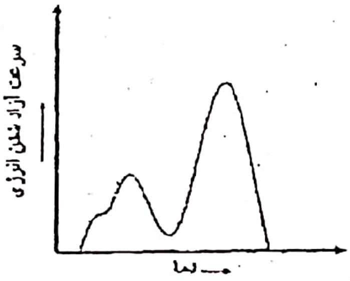
شکل ۱۰-۶) رابطه کار سختی و منحنی تنش – کرنش

۹-۶ تابکاری (Annealing)

تابکاری فرآیندی است که ماده را نرم تر و انعطاف پذیر تر می کند، ولی استحکام ماده را کاهش می دهد . درست تاثیر این فرایند (تابکاری) برعکس سخت کاری می باشد . تابکاری شامل گرم کردن ماده تا دمای مشخص ، نگهداشتن آن در دمای مزبور برای مدت معین و سپس سرد کردن ماده است .

همانطوری که در بخش سرد کاری اشاره شد ، در حین کار سختی تراکم نابجایی افزایش می یابد (تجمع در موانع) و در نتیجه انرژی ماده جامد را افزایش می دهد. منتهی هنگامی که ماده سخت شده در اثر کاری گرم می شود، انرژی آزاد می گردد و همزمان با آن چگالی نا

بجایی کاهش می یابد، حتی ممکن است ساختار دانه ای آن نیز تغییر کند. بنابراین برای آزمایش های نمونه های سخت شده در اثر کار را گرم کرده و انرژی آزاد شده توسط آنها را به عنوان تابعی از دما اندازه می گیرند. نتایج چنین آزمایش هایی گرچه بستگی به نوع ماده، درجه کار سختی آن و سرعت گرم کردن دارد، می توان بصورت شکل ۱۱-۶ نیز ترسیم کرد. در شکل مزبور (۱۱-۶)، دو قله (کوتاه و بلند) نشان دهنده آزاد شدن انرژی در دو محدوده دما مختلف می باشند. اگر نمونه را پس از گذشتن از قله اول (کوتاه) سرد کرد و مورد بررسی قرار دهیم ، در می یا بیم که تراکم نا بجایی قدری کاهش یافته و نمونه اندکی نرم تر شده است ولی ساختار دانه ای تغییری نیافته است. بررسی مشابه پس از گذشتن از قله دوم (بلند) نشان می دهد که علاوه بر اینکه چگالی نا بجایی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است، ساختار دانه ای نیز تغییر پیدا کرده یافته است. که این خود تغییرات در خواص فیزیکی ماده را پدید می آورد .



شکل ۱۱-۶ نمایشگر سرعت آزاد شدن انرژی در اثر گرم کردن نمونه ای که سخت کاری شده می باشد.

19

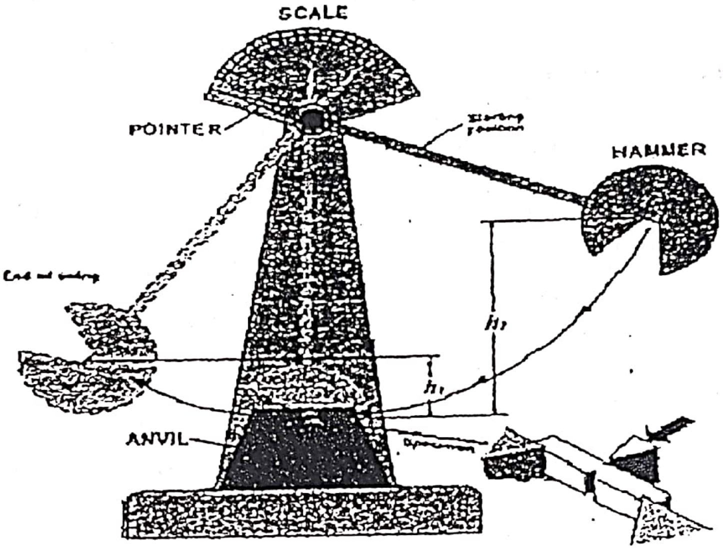
۶-۱۰ چقرمگی (Toughness)

چقرمگی معیاری از میزان انرژی جذب شده توسط ماده قبل از لحظه شکست است . این کمیت در موارد ی که قابلیت تحمل ضربه بدون خطر شکست مطرح باشد اهمیت پیدا می کند. میزان انرژی ذخیره شده در ماده پیش از شکست را هم می توان از آزمایش ضربه بدست آورد و هم از منحنی تنش – کرنش آن قابل محاسبه است . غالبا برای محاسبه چقرمگی به جای استفاده از منحنی تنش – کرنش از آزمایش ضربه استفاده می کنند(دستگاه آزمایش ضربه در شکل ۱۲-۶ نشان داده شده است). بدین صورت که نمونه آزمایش که در عرض آن شیاری ایجاد شده است، روی پایه دستگاه آزمایش قرار می گیرد و قسمت دیگر دستگاه که آونگی است، از ارتفاع معین رها کرده و پس از برخورد آونگ به نمونه، آنرا می شکند و به طرف دیگر می رود. با اندازه گیری ارتفاع آونگ قبل و بعد از شکستن نمونه می توان مقدار انرژی جذب شده را حسب کرد و البته آونگ از روی عقربه ای که به دستگاه متصل است اندازه گیری می شود.

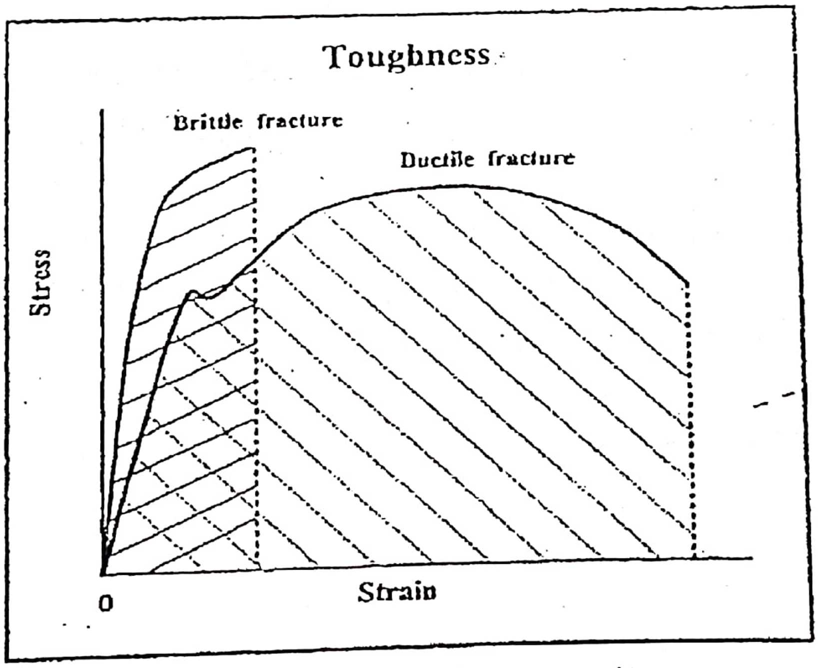
اما میزان انرژی جذب شده توسط منحنی تنش – کرنش، همانطوری که قبلا اشاره شد، با اعمال نیرو (F) در یک میله ازدیاد طول (δ) در آن ایجاد می شود و با افزایش نیرو مقدار δ نیز زیاد می گردد اگر فرضا ازدیاد طول در هنگام شکست δ باشد. کار انجام شده توسط نیروی F از این قرار $W = \int_0^{\delta} F d\delta$ خواهد بود.

این انتگرال بیانگر مساحت زیر منحنی نیرو – تغییر شکل است (شکل ۱۳-۶). معمولا مواد نرم بیش از مواد ترد قابلیت جذب انرژی دارند. در این شکل منحنی اولی مربوط به یک جسم ترد (Brittle) و منحنی دومی متعلق به جسم نرم (Ductile) می باشد و مساحت سطوح زیر منحنی نمایشگر میزان انرژی جذب شده قبل از شکست است. شکل ۱۴-۶ مربوط است به آلیاژ فولادی که کربن کم ، متوسط و زیاد دارد. همانگونه که در این شکل نشان داده شده است هر چقدر مواد سختی کم داشته باشد (فولاد کم کربن) میزان جذب انرژی آن زیاد است.

Scanned by CamScanner



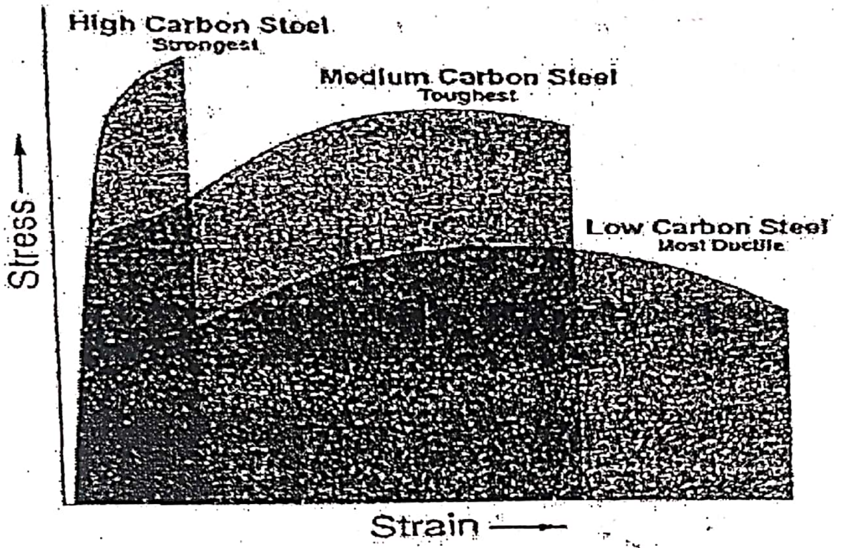
شکل ۱۲-۶ دستگاه آزمایش ضربه



شکل ۱۳-۶ منحنی تنش و کرنش اجسام ترد و نرم

21

Scanned by CamScanner



شکل ۶-۱۴ منحنی مربوط به فولاد های که کربن کم، متوسط و زیاد دارد

۶-۱۱ پدیده خستگی (Fatigue)

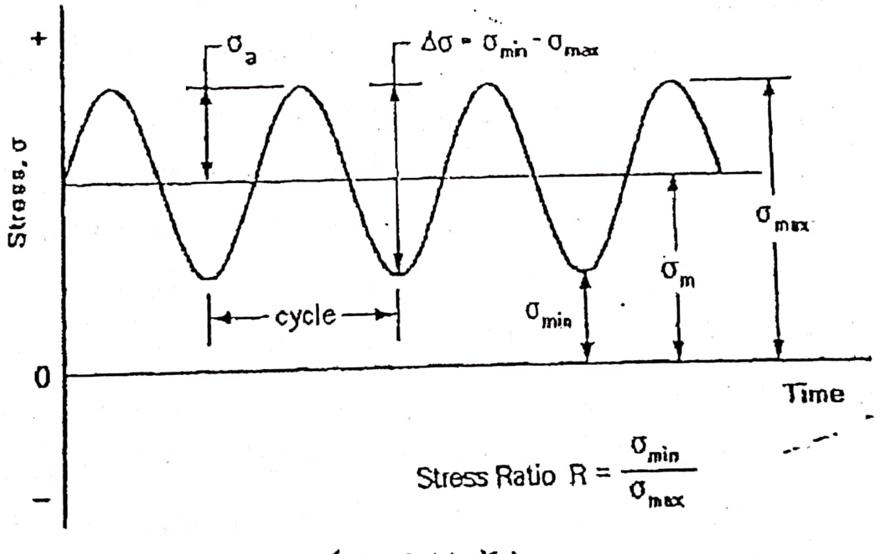
بررسی قطعات شکسته شده ماشین آلات نشان می دهد که بیشتر آنها در تنش هایی کمتر از مقاومت یا تنش تسلیم شکسته شده اند . این ناشی از وجود نواقص ساختاری در ماده نیست بلکه ناشی از پدیده ای بنام خستگی می باشد . اگر یک میله فولادی را به دفعات متوالی تحت یک تنش مثلا ۸۰ درصد تنش تسلیم قرار دهیم ، اگر تعداد دفعات کافی باشد نمونه تحت همین تنش خواهد شکست . علاوه بر این ، اگر چه فولاد در یک آزمایش کششی معمولی ۳۰% ازدیاد طول نشان می دهد، ولی در مقطع شکست ناشی از خستگی هیچ انرژی از ازدیاد طول مشاهده نمی شود .

بنابراین اگر فلزات را تحت اثر تنش های متغیر و متناوب قرار دهند پس از مدتی در اثر تنش های خیلی پائین تر از تنشی که می تواند در آزمایش استاتیکی تحمل کند می شکند. اگر تنش های وارده به جسم همانگونه که در شکل ۶-۱۵ دیده می شود باشد، جسم پس از مدتی می شکند که این نوع شکست را بر اثر پدیده خستگی می نامند. چنانچه جسم مزبور انعطاف پذیر یا حتی شکل پذیر هم باشد، سطح مقطع جسم همانند اجسام ترد و شکننده خواهد بود، دلیل آن بخاطر این است که شکست جسم در محدوده الاستیک رخ می دهد.

Scanned by CamScanner

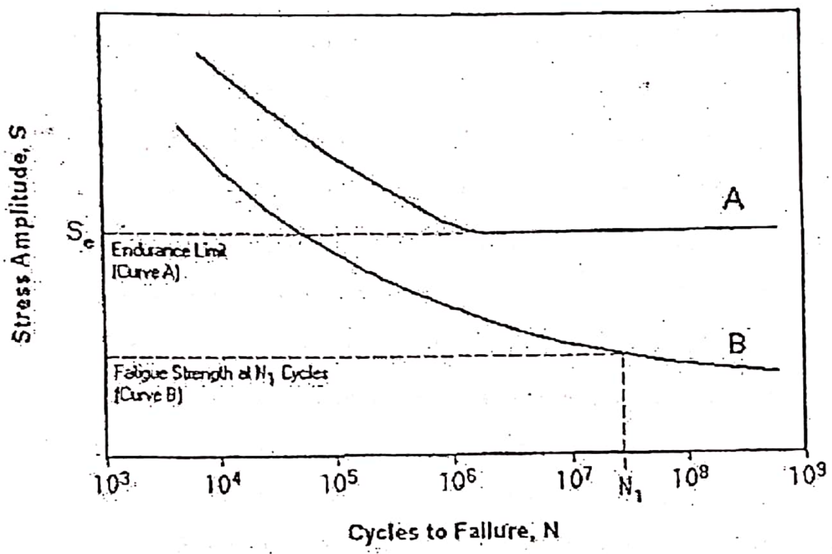
اثر پدیده خستگی را می توان به کمک منحنی شکل ۱۶-۶ درک کرد و این منحنی به S-N معروف است. هر نقطه از این منحنی نشان دهنده مقاومت خستگی ماده در ازاء دفعات تکرار و تغییر تنش است. حد پائینی تنش که حد تحمل نامیده میشود بیشترین تنشی است که جسم علیرغم دفعات تکرار و تغییر تنش تحمل می نماید. حد متحمل یکی از معیارهای فوق العاده مهم در طراحی بسیاری از قطعات است. دفعات تغییر تنش لازم جهت تعیین حد تحمل مواد مختلف یکسان نیست. در مورد فولاد غالبا ده میلیون بار تغییر تنش کافی است ولی در مورد مواد فلزی غیر آهنی باید اقلا ۵۰۰ میلیون بار تنش را تغییر داد. در مورد آلیاژهای آلومینیوم دفعات تغییر بیشتری لازم است. مقاومت خستگی ظاهری مواد در اثر چندین عامل تغییر می کند که مهمترین این عوامل وجود شکافهای ریز است که موجب تمرکز تنش می شوند.

اگر جسم قبلا چند میلیون بار تحت تنش متناوب کمتر از حد تحمل قرار داده شود، حد تحمل نهایی آن اندکی بالا میرود. در مقابل چنانچه جسم قبلا چند هزار بار تحت تنش متناوب بیشتر از حد تحمل قرار داده شود، حد تحمل نهایی آن پایین می اید. این پدیده دارای اهمیت است و باید در طراحی مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۱۵-۶ بار گذاری تکراری

Scanned by CamScanner



شکل ۶-۱۶ منحنی حد تحمل یا منحنی S-N

۶-۱۲ پدیده خزش (Creep)

اثر دراز مدت گرما در پدیده ای به نام خزش ظاهر میشود اگر نمونه کشش را در حرارتهای بالا و تحت نیروی ثابت نگاه دارند، نمونه بطور پیوسته ازدیاد طول می یابد تا به شکست آن منجر شود. این نوع شکست را بر اثر پدیده خزش می نامند. گرچه در پدیده خزش، ازدیاد طول به کندی صورت می گیرد، ولی در مورد قطعاتی مانند پره های توربین های گازی و ظروف فشار زیاد که به مدت طولانی در حرارت های بالا نگه داشته می شوند، مقدار ازدیاد طول به قدری است که اهمیت ویژه ای دارد. بطور کلی هرچه درجه حرارت بیشتر باشد سرعت خزش بیشتر است.

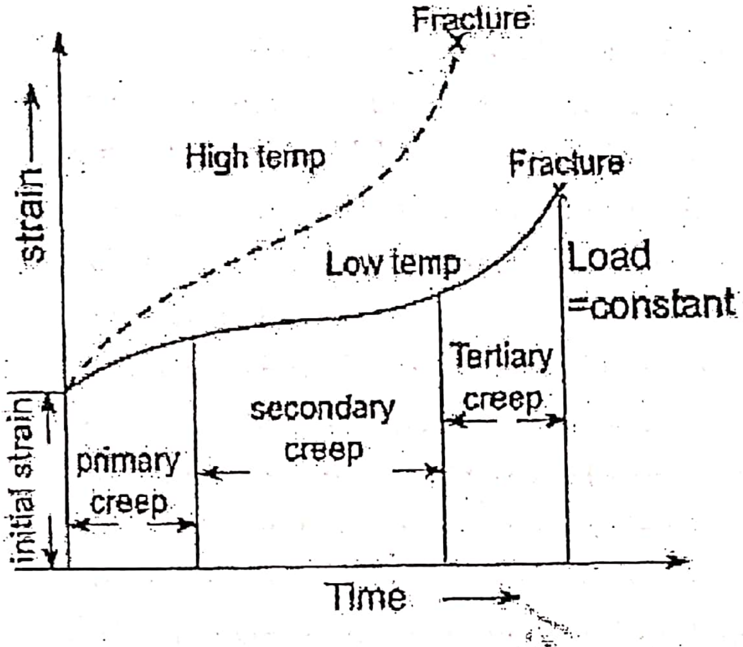
موادی که در دمای بالا تحت تاثیر نیرو قرار گیرد، همزمان کار سخت شده، تابانده نیز می شود. نتیجه می شود که کرنش علاوه بر تبعیت از تنش تابع زمان نیز هست. بعنوان مثال ماده جامد ی را در نظر بگیرید که در دمای بالا نیرویی را تحمل می کند. به علت دمای بالا، لغزش در تنشهای پایین صورت می گیرد. اگر مکانیزم های مهار نابجایی ها موثر باشند ماده در حین کار سخت می شود. اما در دمای بالا مکانیزمهای تا بکاری فعال شونده با گرما عمل می کنند و تاثیر مهار نابجاییها در این شرایط به اندازه تاثیر آن در دماهای پایین تر نیست. در فرآیند سرعتی رقیب، یعنی کار سختی و تا بکاری، تعیین کننده رفتار ماده اند. اگر نابجایی ها

Scanned by CamScanner

بطور بیوسته توسط منابع تولید شده و کار سختی چندانی صورت نگیرد، آن نابجاییها لغزش کرده و از سطوح خارج می شوند و در نتیجه کرنش را زیاد می کنند، تا وقتی که نمونه تحت بار گذاری قرار دارد ازدیاد طول ادامه پیدا می کند و ازدیاد طول نهایی طول زمان اعمال نیرو ست. در نتیجه در ناحیه دمای بالا، کرنش علاوه بر تبعیت از تنش، تابع زمان نیز هست (کرنش تابع زمان خزش نام دارد). از نقطه نظر علمی، خواص خزشی ماده تعیین کننده تناسب آن برای کاربرد در دمای بالاست .

عمل خزشی بطوری که در شکل ۱۷-۶ نشان داده شده است صورت می گیرد. ابتدا نمونه پس از بار گذاری تغییر شکل کشسان پیدا می کند و پس از آن وارد ناحیه اول خزش می شود. که در آنجا سرعت کرنش با زمان کاهش می یابد (ماده در معرض کار سختی قرار می گیرد) در نتیجه سرعت فرآیند سختی بیش از تا بکاری است. در ناحیه دوم که منحنی خطی است، خزش مقدار ثابت سرعت کرنش است یعنی تنش سیلان ماده، ثابت می ماند. در این جا تراکم نابجایی افزایش نمی یابد و سرعت تولید نابجایی ها با سرعت خروج آنها از سطح ماده به علاوه سرعت نابود شدنشان درون ماده برابر است. در نتیجه لغزش بیشترین مقدار کرنشی را به همراه دارد (خزشی ثانویه). و بالاخره در مرحله سوم خزش، کرنش به سرعت افزایش می یابد. این مرحله (مرحله سوم) پیش از شکست بروز می کند و آن را به ایجاد گلویی در نمونه و تشکیل حفره های درونی پیش از شکست نسبت می دهند . منحنی کرنش – زمان بستگی به دما و تنش دارد و در هنگام انتخاب ماده، غالبا باری که باید تحمل شود و دمایی که در آن دما باید کار کند معلوم باشد. چون افزایش هر یک از متغیرها (زمان و تنش) موجب افزایش سرعت کرنش می شود

Scanned by CamScanner



شکل ۱۷-۶ منحنی کرنش – زمان، این منحنی بیانگر تغییرات کرنش بر حسب زمان برای ماده تحت تاثیر بار ثابت در دمای کم و دمای بالا است.

۱۳-۶ شکست مواد انعطاف پذیر

مواد شکل پذیر، به موادی اطلاق می شود که هم دارای حالت الاستیک و هم حالت پلاستیک داشته باشد. شکست این نوع مواد طی سه مرحله زیر انجام میگیرد. این مراحل عبارتند:

الف- سخت کاری،

ب- جوانه زنی ترک و

د- رشد ترک

بدلیل اینکه شکست در اینگونه مواد (مواد شکل پذیر) بر اساس کار سختی، جوانه زنی ترک و رشد ترک انجام می شود. بنابراین این موضوع را در حول سه موارد فوق تحت بررسی قرار می دهیم.

الف - اگر نمونه ای تحت تاثیر باری فرضا بار کششی قرار گیرد و به اهستگی بر مقدار آن افزوده شود، نمونه پس از گذشتن از حد الاستیک در اثر کار، شروع به سخت شدن می کند. افزایش بار، باعث ازدیاد طول دائمی نمونه و در همان حال مساحت سطح مقطع کاهش می

Scanned by CamScanner

یابد. بعلت عدم همگنی در نمونه، کرنش در تمام قسمتها کاملا یکسان نمی باشد، بنابراین بیشتر اتفاقات در قسمتهای ضعیف آن انجام می گیرد. حال به بررسی قسمتهای ضعیف می پردازیم.

قسمتهای ضعیف معمولا بیش از بقیه قسمتهای دیگر نمونه تغییر شکل می دهند، در نتیجه بیشتر در اثر کار، سخت می شوند. همزمان با این تغییرات، مساحت آن نیز کاهش پیدا می کند. اگر نرخ کار سختی بیش از سرعت کاهش مساحت باشد، قابلیت تحمل نمونه پس از تغییر شکل بیشتر از بیش می شود. قسمت ضعیف به قسمت قوی تبدیل می شود و دیگر بیش از اندازه تغییر شکل پیدا نمی کند. سپس تمام این فرآیند در قسمت ضعیف بعدی شروع می شود و همین طور تا آخر ادامه می یابد. حاصل این تحمل نمونه ای است که نسبتا بطور یکنواخت تغییر شکل یافته است، هرچند ممکن است هر جزء از این تغییر شکل بصورت یکنواخت انجام نشده باشد.

اگر چنانچه نرخ کار سختی کمتر از سرعت کاهش سطح مقطع باشد (نرخ کار سختی با افزایش کرنش کاهش می یابد) قسمت ضعیف در اثر تغییر شکل ضعیف تر شده و ازدیاد طول بیش از اندازه ادامه می یابد. وقتی ازدیاد طول صورت گرفت سطح مقطع کاهش پیدا می کند و ایجاد گلویی انجام می شود و در ناحیه گلویی چگالی نابجایی زیاد می باشد.

ب- حال ترک ها چگونه تشکیل می شود، تشکیل ترک در ناحیه گلویی توسط انباشته شدن نابجایی ها صورت می گیرد. نابجایی ها در اثر برهم کنش نیروهای دافعه از یکدیگر جدا هستند. با افزایش تنش برشی تجزیه شده در صفحه لغزش، نابجایی ها بر هم نزدیکتر می شوند. اگر تنش به اندازه کافی باشد، نابجایی ها به هم پیوسته و ترک ایجاد می شود. البته ترک ممکن است در اثر وجود مرزهای دانه با زاویه کم نیز بو جود آید.

د - همین که ترک ایجاد گشت، محلی برای نابودی نابجایی ها می شود که نتیجه آن رشد ترک را حاصل می گرداند. در این مکانیزم، پیشرفت ترک در امتداد صفحه لغزش خواهد بود. ترک ها معمولا می توانند در مرز دانه ها نفوذ کنند. از سوی دیگر ممکن است، چند ترک به یکدیگر پیوند بخورند و یک ترک بزرگتر بو جود آید. زمانی که در نمونه ترک رشد و پیشرفت کرد منجر به شکست نمونه می گردد.

۶-۱۴ شکست مواد ترد

شکست مواد ترد، بصورتی است که جسم قبل از اینکه شکل دائمی پیدا کند می شکند. بعبارتی می توان گفت ، مواد ترد در تنشی برابر با تنش تسلیم و یا پائین تر می شکند.

Scanned by CamScanner

بطور کلی شکست ترد را می توان هم از جنبه انرژی که اولین بار توسط گریفیت انجام گرفت تشریح کرد و هم اینکه از راه نیرو (روش orowan) استخراج کرد .
ابتدا الگوی گریفیت (جنبه انرژی) را بررسی می کنیم چرا که این نظریه توافق خوبی با نتایج تجربی دارند و عموما نظریه شکست ترد او معتبر شمرده می شود .
گریفیت علت شکست ترد را وجود ترکهای ریز در ماده جامد می داند . زمانیکه چنین موادی تحت تنش های بالا قرار می گیرد ، ترک های موجود در داخل ماده پیشرفت می کنند . از طرفی روشن است که هر گونه نا پیوستگی نظیر حفره یا سوراخ بر تنشهای موجود در ماده تاثیر می گذارد، چراکه تنش نمی تواند از حفره (ترک) منتقل شود، بنابراین تنشهای نزدیک به لبه های حفره به میزان قابل توجهی بیشتر از تنشهای مقاطع دورتر از آن است . اصطلاحا به این موارد گفته می شود که تنش در ناحیه نا پیوستگی تمرکز پیدا کرده است .
الگوی گریفیت برای شکست ترد را می توان با در نظر گرفتن وضعیت یاد شده در پاراگراف بالا چنین توضیح داد . وقتی ماده جامدی که دارای ترک است ، تحت تنش کششی قرار گیرد ، انرژی کشسانی در اثر ازدیاد طول ذخیره می شود و ذخیره این انرژی با افزایش تنش در واحد حجم افزایش می یابد . همچنین در تنش های بالا واضح است که ترک رشد و پیشرفت می کند و ازدیاد طول ترک موجب ازدیاد انرژی سطح [1] می گردد .

[1] عموما پیوند اتم های سطح به محکمی اتم های داخلی جسم نیستند ، چرا که هر کدام از اتم های سطح تعداد نزدیکترین همسایه شان کمتر از اتم های داخل است (یا تعداد اتم های همسایه اتم های داخل بیشتر از اتم های سطح است) بنابراین انرژی پتانسیل آنها (اتم های سطح) بیشتر از اتم های داخل می باشد . در واقع این انرژی اضافی را انرژی سطح می گویند .

متنهی این ازدیاد (طول ترک) موجب آزاد شدن انرژی کشسانی می شود . طبق نظریه گریفیت ، هنگامیکه انرژی کشسانی آزاد شده در اثر پیشرفت ترک با انرژی سطح مورد نیاز برای پیشرفت ترک برابر شود ، ترک رشد و پیشرفت و در نهایت موجب شکست می گردد .
نظریه اوروان (orowan) در ارتباط با شکست از دید تنش شروع می شود . اوروان نمونه ترک داری را در نظر گرفت (شکل ۶.۱۸) و فرض کرد که ترک موقعی پیشرفت می کند که تنش در نوک آن (ترک) برابر استحکام کششی نظری ماده شود .
با در نظر گرفتن شکل زیر ، تنش در نوک ترک برابر است با :

Scanned by CamScanner

$$\sigma_c = \sigma\left(2\sqrt{c/\rho}\right) \quad \ldots\ (۱)$$

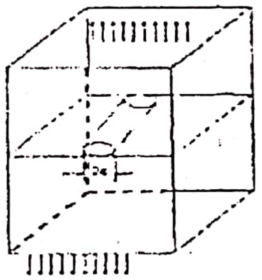
و استحکام کششی نظری از رابطه زیر بدست می آید .

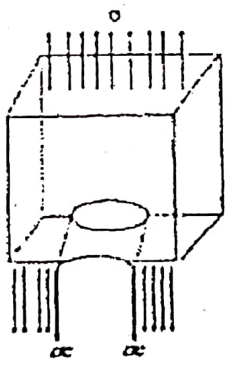
$$\sigma_{max} = \sqrt{\frac{WE}{r_0}} \quad \ldots\ (۲)$$

طبق نظر اوروان ، اگر $\sigma_c = \sigma_{max}$ را در رابطه (۱) قرار دهیم و سپس رابطه ۱ و ۲ را ترکیب کنیم تا σ_{max} حذف شود ، خواهیم داشت .

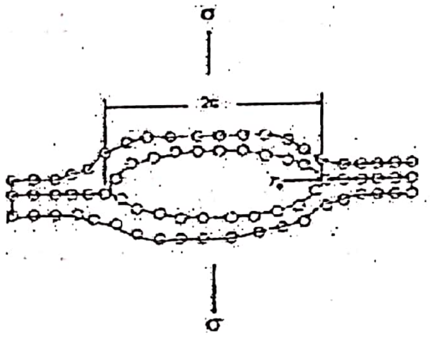
$$\sigma = \sqrt{\frac{WE\rho}{4cr_0}}$$

که σ تنش وارده بر نمونه ، c نصف طول ترک ، ρ شعاع انحناء لبه ترک ، W انرژی ویژه سطح که برابر است با $W = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{تغییر مساحت}}$ می باشد .





Scanned by CamScanner



شکل ۶.۱۸

۶-۱۵ بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه ها

اگر فلزی را که کار سخت یا سرد کاری روی آن انجام گرفته حرارت دهیم به سه ناحیه مختلف به ترتیب افزایش دما می توان اشاره کرد:

۱ - ناحیه بازیابی (Recovery)،
- تبلور مجدد (Recrystallisation) و
- رشد دانه (Grain Growth)

این سه ناحیه فوق یعنی بازیابی در محدوده دمایی اتاق تا ۰/۳ نقطه ذوب جسم (۰/۳Tm) و تبلور مجدد بین 0/3Tm الی ۰/۶Tm نقطه ذوب و رشد دانه ها در دمای 0/6Tm الی نقطه ذوب (Tm) انجام می گیرند. در این نواحی در داخل اجسام اتفاقات زیر رخ می دهد:

۶-۱۵-۱ بازیابی

این ناحیه دما درست زیر ناحیه تبلور مجدد قرار دارد. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی می توان نشان داد که در این ناحیه از دما، در نواحی که شدیداً تحت لغزش قرار گرفته اند، تنش داخلی موجود، آزاد می شود. نابجایی ها به موقعیت های انرژی پایین تر حرکت می کنند. یا به زبان دیگر می توان گفت که اگر فلز کار سخت شده تا درجه حرارت های نسبتاً پایین گرم شود، تغییر شکلهای الاستیک شبکه کریستال به خاطر افزایش میدان نوسان حرارتی اتم ها، کاهش پیدا می کند. این گرم کردن، استحکام فلز کار سخت شده را به مقدار

Scanned by CamScanner

جزئی میکاهد، اما حد الاستیک و نرمی آن را افزایش می دهد. البته اینها به مقادیری که فلز در حالت اولیه داشته (قبل از عمل سرد کاری شدن) نمی رسند. در این ناحیه هیچ تغییری در ساختمان میکروسکوپی مشاهده نمی شود، بنابراین تحول جزیی در خواص اصلی، که به وسیله کاهش تغییر شکلهای شبکه بدون ایجاد تغییر قابل ملاحظه ای در ساختمان میکروسکوپی تولید می شود را بازیابی می نامند .

۲-۱۵-۶ تبلور مجدد

در این ناحیه از دما بر اثر تشکیل بلور های هم محور، تنش های داخلی رها می شود در نتیجه استحکام کم تر و جسم شکل پذیری بیشتر می گردد.

کلمات انجماد یا تبلور و تبلور اولیه، حداقل برای فلزات، کلماتی مترادف هستند، کلا در فلزات علاوه بر تبلور اولیه، یک بار دیگر نیز تبلور ایجاد می شود که این تبلور جدید را تبلور مجدد می نامند. تبلور اولیه در سطح مشترک بین فاز مایع و جامد رشد می کند، در حالی که تبلور مجدد فقط در چند فاز مختلف جامد نقش دارد. تبلور مجدد در اجسام به شکل های مختلف انجام می شود که می توان سه حالت اصلی را به صورت زیر بیان داشت:

الف - تبلور مجدد در حین یک تبدیل آلوتروپی

ب - تبلور مجدد در حین دادن یک حرارت کم به فلز سرد کاری شده

د - تبلور مجدد در جریان یک تغییر شکل دایمی در دمای بالا

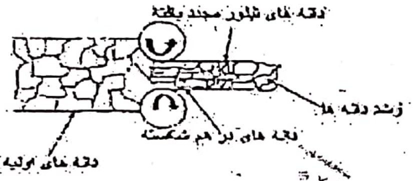
الف - تبلور مجدد از طریق یک تبدیل آلوتروپی در بعضی از فلزاتی که دارای خاصیت چند شکلی دارند در حرارت معینی، نوع ساختار بلور ی شان می تواند عوض شود (این فلزات شامل : آهن، قلع، کبالت، منگنز و غیره هستند). این تبدیل آلوتروپی یک تبلور مجدد است. در واقع در این حالت یک تغییر فاز وجود دارد، یعنی یک بازسازی شبکه بلور ی. بعلاوه بازسازی اساسی ساختار، مرز دانه ها را حفظ می کند. معمولا دانه جدید در بزرگی و شکل با دانه قبلی اختلاف داشته و همان حدود را اندازه می گیرند.

ب - تبلور مجدد همانند تبلور اولیه پدیده ای مرکب از تشکیل نطفه و رشد بلور ها ست، قبل از همه نطفه های لازم بوسیله تغییر شکل دایمی ایجاد می گردد. نواحی که دارای بیشترین به هم خوردگی را داشته باشند، در آنها انرژی نابجایی ذخیره شده و این انرژی نابجایی بنوعی بالقوه است که تبلور مجدد از آن شروع می شود (یعنی انرژی نابجایی ذخیره شده، نقش نطفه را بازی می کنند). بلور های جدیدی که از تبلور مجدد بدست می

Scanned by CamScanner

آید دارای نابجایی کمتر است و بنابراین تبلور مجدد، خود کاهش انرژی آزاد بر اثر کاهش انرژی نابجایی، مربوط است .

د ـ مکانیسم تغییر شکل در گرما و پدیده های الحاقی یعنی در هم شکستن بلور ها، دوباره سرد شدن و رشد بعدی بلور به صورت طرح در شکل ۱۹ ـ ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶.۱۹ (نورد) تغییر شکل در گرما و تبلور مجدد

درجه حرارت تبلور مجدد در فلزات مختلف است و با میزان کار سرد انجام شده بر روی جسم تغییر می کند. بطور کلی، هر چه تغییر شکل زیادتر باشد درجه حرارت تبلور مجدد پایین تر است ولی در عمل حد زیرینی برای تبلور مجدد وجود دارد که در حرارت های پایین تر از آن تبلور مجدد در طول زمان معقول صورت نمی گیرد. چون تغییر شکل بیش از اندازه بلور ها موجب شکستگی فلزات می شود، برای پرهیز از خطر شکستگی می توان پس از انجام مقدار مناسب تغییر شکل در حالت سرد، فلز را آنقدر حرارت داد تا تبلور مجدد صورت می گیرد، فلز مجدداً شکل پذیر شده و برای تغییر شکل بیشتر آماده است. این نکته در بسیاری از فرآیند های تولیدی دارای اهمیت است . نقطه دیگر اینکه در برخی از فلزات تبلور مجدد در حرارت اتاق انجام میشود . در این قبیل موارد عملیات شکل دادن و تبلور مجدد همزمان صورت گرفته و به این ترتیب امکان تغییر شکل زیاد بدون خطر شکست وجود دارد. دمای تبلور مجدد توسط چندین عامل تعیین می شود. کلا دمای تبلور مجدد

Scanned by CamScanner

همانگونه که گفته شد بین Tm ۰/۳ تا Tm ۰/۴ می باشد (Tm نقطه ذوب فلز است) این دما به زمان نیز بستگی دارد، مثلا اگر تبلور مجدد آلیاژ آلومینیوم که ۷۵ % سرد کاری شده در ۳۵۰°c در مدت یک دقیقه کامل می شود در دمای ۳۰۰°c به ۴۰ دقیقه و در ۲۳۰°c به ۴۰ روز نیاز دارد. یعنی هرچه دما پایین باشد زمان زیادی نیاز است. همچنین کرنش نیز بر دمای تبلور مجدد اثر می گذارد یعنی هرچه سختی روی فلز زیادتر انجام گیرد در دمای کمتری تبلور مجدد صورت می گیرد .در ضمن مواد خالص نیز نسبت به محلولهای جامد در دمای پایین تری تبلور مجدد می یابند.

۶-۱۵-۳

رشد دانه ها

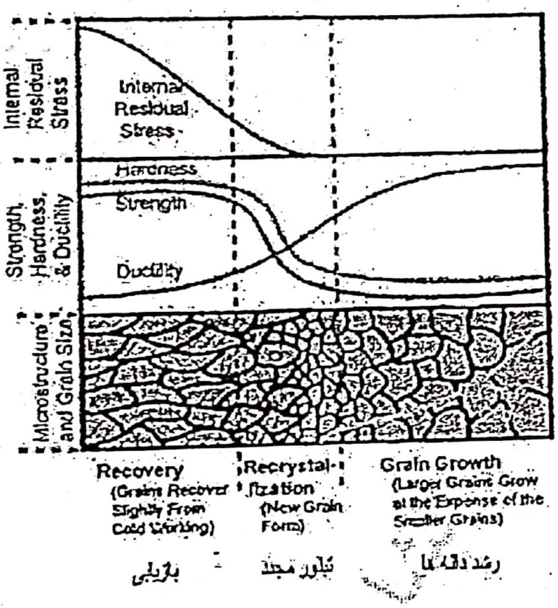
اگر دما را بالاتر از حد تبلور مجدد ببریم دانه ها به رشد خود ادامه خواهند داد. یعنی دانه های فلز بلافاصله پس از تبلور مجدد کوچک هستند. اگر فلز را برای مدت قابل ملاحظه ای در حرارت تبلور مجدد یا بالاتر از آن نگهدارند رشد دانه ها شروع می شود که نتیجه آن تشکیل دانه های بزرگتر از بهم پیوستن دانه های کوچکتر است. هرچه درجه حرارت بالاتر باشد سرعت رشد دانه ها بیشتر است. میزان ارائه رشد دانه ها در هر درجه حرارت عملا محدود است.

به دلیل رشد دانه ها، مرزهای دانه ای که معیار استحکام هستند، کم می شوند. کلا سرعت رشد دانه به دما بستگی زیادی دارد. افزایش دما انرژی نوسانی گرمایی را افزایش می دهد که آن نیز به نوبه خود به نفوذ از مرز دانه های کوچکتر به دانه های بزرگتر شتاب می دهد. کاهش بعدی در دما حرکت مرز دانه ها را کندتر می کند ولی آن را عکس نمی کند .

کلا باید گفت که هر سه ناحیه فوق (بازیابی – تبلور مجدد و رشد دانه) به زمان نیز بستگی دارند. شکل ۶-۲۰ ، تغییرات ساختمان ، استحکام و انرژی آزاد شده در مراحل بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه ها را نشان میدهد.

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner


Internal Residual Stress
Internal Residual Stress
Strength, Hardness, & Ductility
Hardness
Strength
Ductility
Microstructure and Grain Size
Recovery
(Grains Recover Slightly From Cold Working)
Recrystal-lization
(New Grain Form)
Grain Growth
(Larger Grains Grow at the Expense of the Smaller Grains)
بازیابی
تبلور مجدد
رشد دانه ها

شکل ۶-۲۰

۹-۱ نمودارهای تعادلی (فازی)

فلزات به ندرت در حالت خاص استفاده می شوند اما کاربرد آنها به صورت آلیاژی متداول است و تعادل ترمودینامیکی آلیاژ ها از طریق نمودار های تعادل بررسی می شود.

نمودار تعادلی یا نمودار فازی نمایش شماتیک وجود یا تغییرات فاز های مختلف یک مجموعه آلیاژی با تغییرات دما و غلظت می باشد. همانطوری که از نام این نوع نمودار ها بر می آید فرض بر آن است که تغییرات درون آلیاژ در شرایط تعادل صورت می گیرد. به عبارت دیگر زمان کافی برای انجام تغییرات سیستم موجود می باشد.

آلیاژهای فلزی آلیاژ های یک یا چند فاز هستند که خواص کلی آنها مشابه فلزات خاص است. ترکیب شیمیایی این آلیاژها شامل دو، سه یا چند عنصر فلزی یا غیر فلزی است. بررسی آنها می تواند مانند یک سیستم فیزیکی، که متغیر های مستقل آنها با رابطه گیبس قابل محاسبه است، انجام شود.

$$F = C - P + 2$$

که F درجه آزادی، C تعداد اجزاء یا عنصرهای تشکیل دهنده و P تعداد فاز های موجود در حال تعادل باهم است. عدد ۲ در معادله اشاره به تعداد متغیرهای فازی عادی یعنی دما و فشار دارد. منتهی در نمودار فاز ها فشار را در یک اتمسفر انجام می دهند، یعنی نمودار فاز ها را در فشار یک اتمسفر رسم می شود. بنابراین معادله فوق را به صورت زیر نوشته می شود.

$$F = C - P + 1$$

که در واقع درجه آزادی (F) مشخص می کند که چند متغیر باید ثابت باشند تا سیستم بطور کامل مشخص باشد. در این جا صرفا به آلیاژهای دوتایی که برای آنها $C=2$ است پرداخته می شود.

۹-۲ منحنی های تبرید (انجماد)

برای تهیه نمودارهای تعادل، فلز یا آلیاژ مورد نظر را ذوب کرده و تغیرات درجه حرارت آن را بر حسب زمان، در حین سرد شدن، ثبت می کنند. به منظور درک نتیجه چنین آزمایشی و روش تهیه نمودار فازی از این اطلاعات می توان حالت خاص مخلوط آب و نمک یا همان کلرور سدیم (Nacl) را بررسی نمود. با اینکه هیچکدام از این دو ماده مواد مهندسی نیستند ولی پدیده حاصله همانند حالات آلیاژ های دوتایی بوده و آشنائی بیشتر با این دو ماده درک مطلب را ساده تر می کند.

ابتدا حالت آب خالص را در نظر می گیریم که از دمای اتاق به درجه حرارت پائین تر از انجماد سرد می شود. همینطوری که می دانیم آب خالص زمانی که به دمای صفر درجه

Scanned by CamScanner

سانتیگراد برسد، شروع به انجماد (یخ) می کند [با گذشت زمان درجه حرارت بر روی خط منحنی (شکل a ۱-۹) پائین آمده تا در دمای صفر درجه به نقطه a می رسد]. سپس همانگونه که در شکل مشاهده می شود در حین انجماد درجه حرارت بر روی خط a-b ثابت می ماند. پس از تکمیل انجماد درجه حرارت آب جامد (یخ) مجددا رو به کاهش می گذارد. بنابراین این شکل a ۱-۹ منحنی تبرید آب خالص است و نمایانگر انجماد آن می باشد. در مواردی که فلزات خالص یا ماده خالص از حالت مذاب یا مایع بصورت جامد در می آیند منحنی مشابهی بدست می آید.

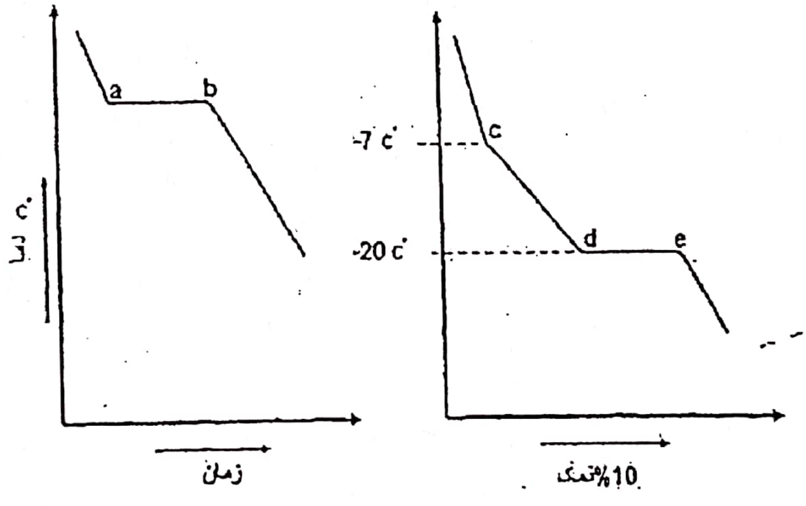
در مرحله بعدی، بجای اینکه آب خالص باشد، محلول آب و نمک طعام را که ده در صد نمک دارد در نظر می گیریم. منحنی تبرید این محلول (Nacl ۱۰%+آب) در شکل b ۱-۹ نشان می دهد. همینطوری که مشاهده می شود منحنی تا دمای c° ۷- افت دما به صورت یکنواخت دارد. در این درجه حرارت ذرات ریز یخ خالص شروع به انجماد می کنند. تشکیل ذرات یخ خالص باعث بالا رفتن غلظت محلول باقی مانده و در نتیجه پائین آمدن نقطه انجماد آن می شود. بنابراین، برای تشکیل ذرات بیشتر یخ باید درجه حرارت را پائین آورد. در نتیجه هر چه بر مقدار ذرات یخ خالص افزوده می گردد، نقطه انجماد محلول نیز پائین تر می آید. به این دلیل، در شکل b ۱-۹ شیب منحنی از نقطه c به d تغییر می کند. پائین آمدن تدریجی نقطه انجماد تا دمای c 20- ادامه می یابد. در این درجه حرارت ذرات یخ خالص و نمک در یک زمان منجمد شده و به صورت مخلوط مکانیکی بسیار یکنواخت آب جامد و نمک در می آید (احیانا اگر انجماد به سرعت صورت گیرد بعلت پدیده فوق انجماد دما های تغییر فاز و انجماد به میزان قابل توجهی تغییر می کنند و در نتیجه تغییراتی در شکل منحنی های تبرید حاصل می گردد). مورد بعدی انجماد محلول ۲۳/۳ درصد نمک در آب است. بررسی انجماد این محلول در شکل c ۱-۹ دیده می شود. در این حالت پائین آمدن درجه حرارت محلول تا دمای c° ۲۰- بصورت یکنواخت است. در این دما آب و نمک (محلول آب و نمک + محلول نمک و آب) با هم منجمد می شوند و مخلوط مکانیکی یکنواخت ایجاد می نمایند. مخلوط مکانیکی دو جامد که در یک درجه حرارت و توأما منجمد گردند ایوتکتیک (Eutectic) نامیده می شود. ایو تکتیک، حاصل انجماد هم زمان دو جسم است که در حالت مایع در یکدیگر محلول بوده ولی در حالت جامد به هیچ وجه در یکدیگر حل نمی شوند. بطوری که بعدا نشان داده خواهد شد، نقطه انجماد یا ذوب مخلوط ایوتکتیک پائین تر از نقطه انجماد هر مخلوط دیگر از مواد تشکیل دهنده ایوتکتیک است. شکل c ۱-۹، منحنی تبرید مخلوط ایوتکتیک مشابه منحنی تبرید فلز خالص است. خلاصه ترکیب خاص یک آلیاژ که هنگام انجماد تماما به صورت ایوتکتیک

Scanned by CamScanner

در آید ترکیب ایوتکتیک ان آلیاژ نام دارد. ترکیب ایوتکتیک محلول اب و نمک ۲۳/۳ در صد نمک و دمای ایوتکتیک آن، c˚ ۲۰- درجه سانتیگراد است.

در مرحله بعدی، تبرید محلول نمک و آب که مقدار آن بیش از ترکیب ایوتکتیک باشد (بیش از ۲۳/۳ در صد نمک) مثلا ۵۰% نمک بررسی می گردد. منحنی انجماد این محلول در شکل ۹-1d نشان می دهد. این منحنی مشابه منحنی شکل b ۱-۹ است. دمای منحنی تا درجه c˚ ۲۸۸ پائین آمده و از آن پس ذرات نمک شروع به انجماد می نماید. با پائین آمدن تدریجی دما مقدار بیشتری نمک منجمد شده تا درجه حرارت c˚ ۲۰- برسد. در این درجه، دما باقی می ماند، محلول با تشکیل هم زمان ذرات یخ و نمک منجمد می گردد.

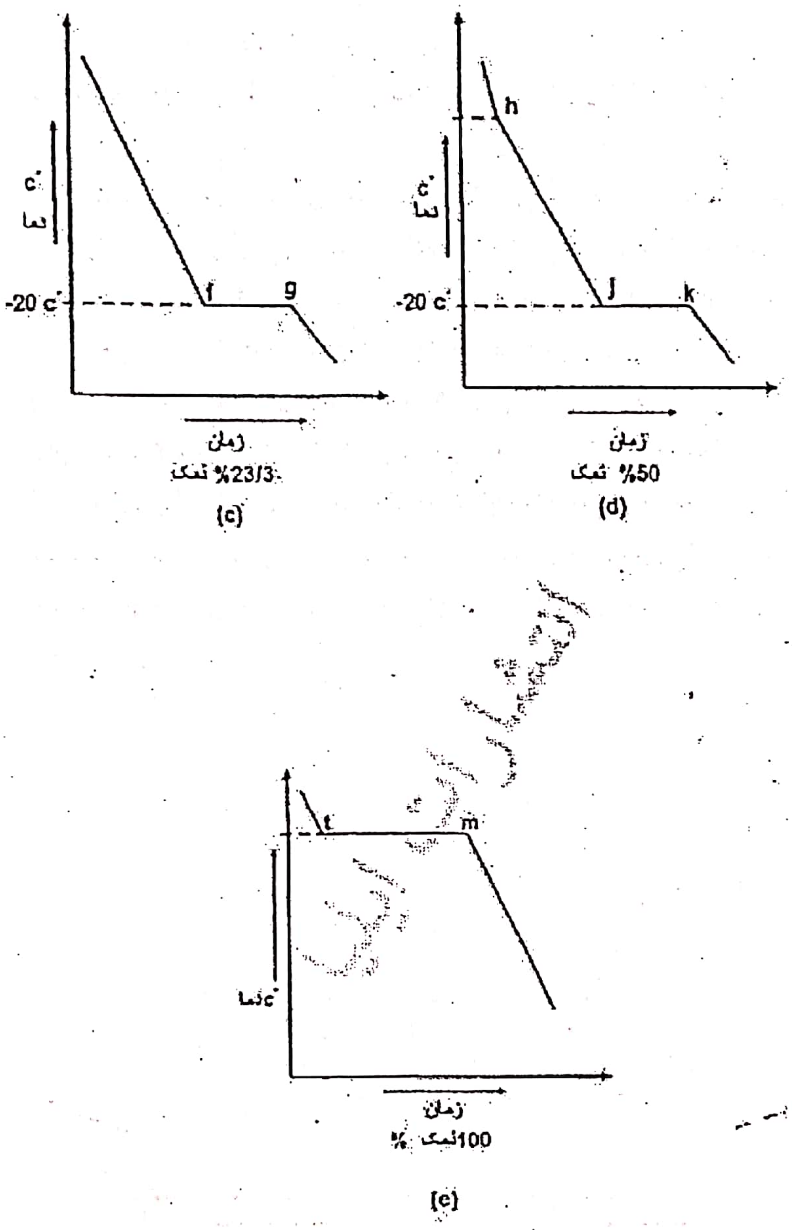
برای تکمیل نمودار، منحنی انجماد نمک خالص در شکل ۹-1c نشان داده شده است. منحنی های تبرید شکلa وe ۱-۹، دما هائی را که در آن تغییرات فاز در چند محلول مختلف نمک و آب حاصل می گردد، نشان می دهد. نهایتا در شکل ۲-۹ نمودار تعادل نمک و آب که بر مبنای اطلاعات حاصل از منحنی های تبرید بدست آمده است دیده می شود. نقاط علامت گذاری شده با حروف a تا m در این منحنی (شکل ۲-۹) همان نقاط a تا m منحنی های تبرید اشکال a تا e ۱-۹ است.



(a) (b)

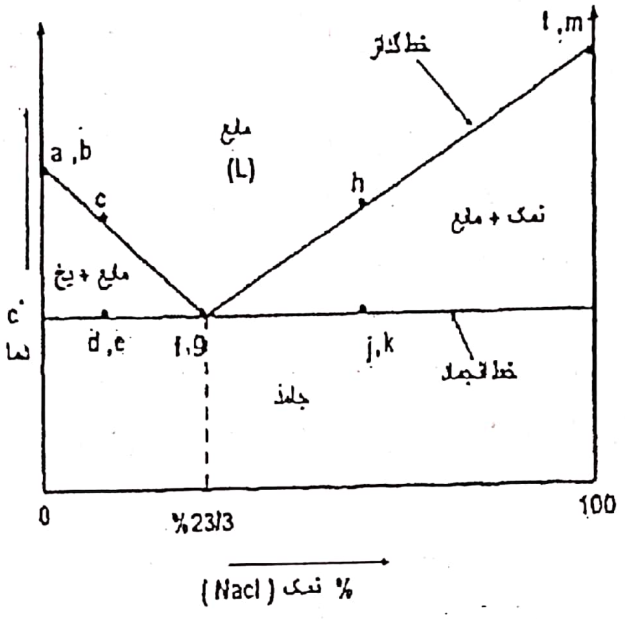
۳

Scanned by CamScanner



شکل e تا a ۱-۹ ، نمدار تعادلی آب و نمک را در درصد های مختلف نشان میدهد.

Scanned by CamScanner



شکل ۲-۹ نمودار دو ماده آب و نمک (Nacl)

۳-۹ انواع نمودار تعادلی (فازی) دوتایی

همانطورکه در صفحات قبل اشاره شد، یک نمودار فازی طرح و نقشه سیستمی است که فاز های موجود تحت تعادل را برای هر نسبتی از ترکیب و دما نشان می دهد. این نمودار شامل خطوطی است که آن را به چند منطقه یا مقطع تقسیم می نمایند. در یک نمودار دوتایی، مناطق ممکن است یک فازی یا دو فازی باشند. مناطق تک فاز همواره بوسیله یک منطقه دو فازی جدا شده و مناطق سه فازی تنها می توانند در یک نقطه منحصر به فرد، مانند ایوتکتیک وجود داشته باشند.

جایی که خط عمودی نشان دهند ترکیب ویژه، یک خط نمودار فازی را قطع می کند، تغییر فازی رخ داده در گذر از این دما را نشان خواهد داد. برای هر نقطه داخل منطقه دو فازی، ترکیب دو فاز در حال تعادل را می توان تعیین کرد. موقعیت هایی که یک خط افقی با گذر از یک نقطه، خطوط مرزهای فازی را قطع می کنند، نشان دهنده ترکیبات فاز های مربوطه می باشند.

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

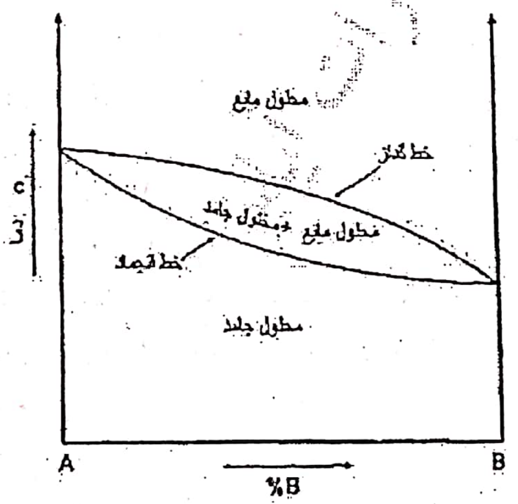
در این بخش سعی خواهد شد، انواع نمودار تعادلی دوتایی معروف که بسته به شرایط آلیاژ دارد شرح داده شود، گرچه نمودار های دیگری با شرایط خاص نیز وجود دارند.

۱-۳-۹ نمودار تعادلی آلیاژهای دوتایی که هر دو عنصر موجود به هر نسبتی در همدیگر حل می شوند (حلالیت کامل)

در این شرایط (حلالیت کامل) هر دو عنصر چه در حالت جامد و چه در حالت مایع (مذاب) به طول کامل در یکدیگر حل هستند. این حالت وقتی امکان پذیر است که دو عنصر دارای ساختمان یکسان و ابعاد اتمی مشابهی داشته باشند. نمودار تعادلی این نوع آلیاژ ها در شکل (۳-۹) نشان داده شده است.

نمودار به سه ناحیه تقسیم می شود. ناحیه فاز جامد در قسمت پایین نمودار، ناحیه مایع (مذاب) + جامد در مرکز و بخش فاز مایع در بالای نمودار واقع است.

در این نمودار خط بالایی را، خط گذار یا مرز مایع و خط پائینی، خط انجماد یا مرز جامد معرفی می شود. فاز جامد، محلول جامد دو عنصر را نمایش می دهد و این دو عنصر به هر نسبتی در حالت جامد قابل حل در یکدیگر می باشند. آلیاژ مس و نیکل چنین نمودار ی را دارند که به سیستم ایزومورف معروف می باشد.



شکل ۳-۹ نمودار تعادلی آلیاژ های دوتایی که حلالیت کامل دارند (ایزومورف)

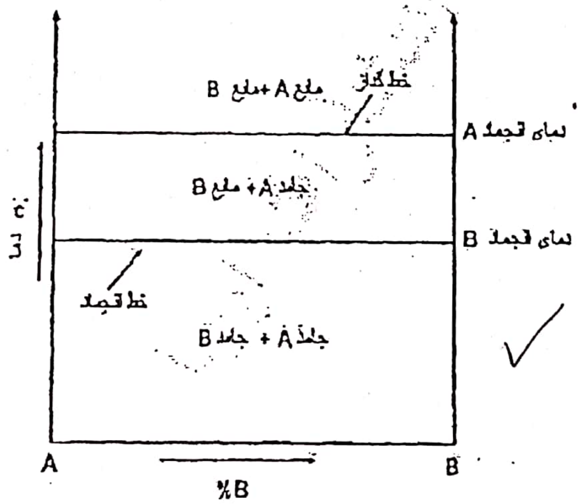
۶

Scanned by CamScanner

۹-۳-۲ نمودار آلیاژی دوتایی که در همدیگر حل نیستند (عدم حلالیت)

در برخی موارد دو عنصر ممکن است در هیچکدام از دو حالت جامد و مایع در یکدیگر حل نشوند. دو مایع غیر قابل انحلال به دو لایه جدا می شوند. مذاب با چگالی کمتر روی مذاب با چگالی بیشتر غوطه ور خواهد بود.

نمودار فازی چنین حالتی در شکل (۴-۹) نشان داده شده است. هر یک از عنصرها شکل شبکه بلوری خود را در کلیه دماها حفظ می کند. بدون توجه به در صد ترکیب هر کدام از عنصرها در درجه حرارت انجماد خود منجمد می شوند. اگر این دو عنصر از حالت مذاب به آرامی سرد شوند محصول نهایی از دو لایه جامد تشکیل خواهند شد، ولی در حین انجماد مواد مذاب را بهم بزنیم، نتیجه ذرات پراکنده عنصر جامد A (عنصری که نقطه انجماد ش بالاتر ازدیگری است) در عنصر جامد B خواهد بود. معمولاً عنصر هایی که اختلاف نقطه ذوب و چگالی شان زیاد باشد چنین نموداری را دارند .



شکل ۴-۹ نمودار تعادلی آلیاژ های دو تایی که در همدیگر حل نشوند

۷

canned by CamScanner

Scanned by CamScanner

۹-۳-۲ نمودار فازی آلیاژ دو تایی که حلالیت کامل در حالت مایع ولی حلالیت ناقص (حلالیت جزئی) در حالت جامد دارند.

هر گاه دو عنصر در حالت مایع در همدیگر قابل حل باشند ولی در حالت جامد قسمتی یا تمام یکی از آنها در دیگری غیر قابل حل باشد در آن صورت سیستم حاصل را یوتکتیک می نامند. به بیان دیگر این نوع سیستم ها بوسیله واکنش یوتکتیکی صورت می پذیرد، به این ترتیب که در یک واکنش یوتکتیکی یک مایع به دو جامد متفاوت و غیر هم فاز تبدیل می شود.

یک نمونه از نمودارهای فازی (تعادلی) یوتکتیک در صفحات قبل توضیح داده شد (نمودار مربوط به آب و نمک)، یک نمونه از نمودار فازی دیگر که معمولاً در اکثر آلیاژ بدین صورت است در شکل (۵-۹) نشان داده شده است.

نمودار فازی در شکل (۵-۹) که بیانگر حلالیت ناقص در حالت جامد است، دارای شش محدوده فازی مختلف است. این محدوده ها عبارتند از مایع (L)، محلول جامد α، محلول جامد β، مایع به اضافه محلول جامد α، مایع به اضافه محلول جامد β و محلول جامد β به اضافه محلول جامد α. در این ارتباط فاز α یعنی محلول عنصر B در A و فاز β یعنی محلول عنصر A در B است. در این نمودار خط FCD منطقه حلالیت عنصر B در A است و تغییرات قابلیت حل شدن با تغییر دما را نشان می دهد. در نقطه E واکنش یوتکتیک صورت می پذیرد و نقطه یوتکتیک نامیده می شود. منظور از این واکنش آن است که در این نقطه ترکیب مایع در دمای T_E به دو فاز جامد α و β تبدیل می شود. خط FEG خط گداز و خط FDHG خط انجماد را نشان می دهد.

ترکیب فاز های جامد در دمای T_E بوسیله نقاط D و H خط محدود کننده DEH تعیین می شود. ویژگیهای انجماد سیستمهای یوتکتیک با سیستم های ایزومورف کاملاً متفاوت بوده و در دو نکته خلاصه می شود :

الف - انجماد یک آلیاژ یوتکتیک در یک دمای ثابت معروف به دمای یوتکتیک که در آن مایع یوتکتیک به دو فاز جامد α و β تجزیه می شود، اتفاق می افتد. طی این انتقال (تبدیل) دما ثابت می ماند. پس از پایان انتقال کاهش دمای آلیاژ باعث تغییرات ثانویه در حلالیت دو فاز جامد می گردند که این مقدار از روی شیب خطوط حلالیت در نمودار تعادلی

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

مشخص است. برای دریافت بهتر مطالب خط سیر تغییرات آلیاژ ۲ را در شکل دنبال می توان کرد.

ب - انجماد آلیاژ دور از ترکیب ایوتکتیک نشانگر یک منحنی سرد شوند گی مخلوط است. ابتدا انجماد در یک محدوده دمایی و سپس در یک دمای ثابت صورت می پذیرد. برای تشریح نحوه عمل، خط آلیاژ ۱ را در شکل (۵-۹) می توان دنبال کرد. در این آلیاژ ۲۰ درصد عنصر B وجود دارد. انجماد این آلیاژ در دمای T_1 با تشکیل فاز جامد α آغاز می شود. همچنانکه انجماد ادامه می یابد مقدار فاز α اضافه می شود. ترکیب فاز مایع مطابق FE تغییر می کند . وقتی که دمای آلیاژ اندکی بالاتر از دمای T_E است مقدار مایع موجود در آلیاژ با استفاده از قانون اهرمها در نقطه ۱ به شکل زیر بدست می آید.

$$\% \text{مایع} = \frac{20-18}{55-18} \times 100 = \%5/4$$

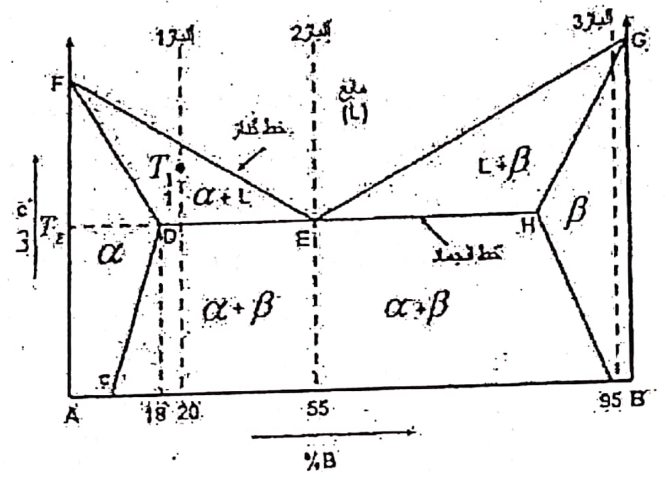
این مایع دارای ترکیب ایوتکتیک است. سرد کردن بیشتر آلیاژ موجب واکنش ایوتکتیک در دمای T_E و تبدیل کل مایع باقی مانده (در این مثال ۵/۴ %) به مخلوط فاز های α و β می شود . با کاهش بیشتر دما تا دمای اتاق هیچ نوع انتقال دیگری صورت نمی پذیرد. محلول جامد α ای که در فاصله T_1T_E تشکیل می شود، فاز α ای اولیه نامیده می شود که در این مثال مقدار آن در مجاورت دمای T_E برابر ۹۴/۶ % آلیاژ می باشد.

خواص آلیاژ چند فازی به ویژگی های تک تک فاز های آن و اینکه چگونه این فاز ها در ساختمان میکروسکوپی توزیع شده اند بستگی دارد. در اغلب آلیاژهای ایوتکتیک یکی از فاز ها نرم و چکش خوار و دیگری سخت و شکننده است. بنابراین خواص آلیاژ به مقدار نسبی دو فاز بستگی دارد.

واکنش ایوتکتیک به هنگام تشکیل آلیاژها بسیار اتفاق می افتد. از نمونه های معروف این سیستم می‌توان به آلیاژهای آهن و کربن ، آلومینیوم و سیلیسم ، آلومینیوم و نیکل و غیره می توان اشاره نمود .

۹

Scanned by CamScanner



شکل ۵-۹ نمودار تعادلی آلیاژهای دوتایی که در حالت جامد حلالیت ناقص دارند
(یوتکتیک)

۴-۹ اطلاعات حاصل از یک نمودار تعادلی

با مطالعه و بررسی یک نمودار تعادلی می توان به اطلاعات زیر دست یافت :

الف- تعیین تعداد فاز ها

ب- تعیین ترکیبات شیمیایی فاز ها

ج - تعیین مقدار نسبی فاز ها

دانستن مقدار فاز ها اهمیت زیادی دارد، چون خواص یک مخلوط دو فاز به درصد فاز های موجود در آن بستگی دارد. این مقادیر را می توان از طریق محاسبه یا به روش ترسیمی ساده از روی نمودار فاز ها، پیدا کرد. اگرچه روش ترسیمی سریعتر است، ولی اول روش محاسباتی توضیح داده می شود، چون شناخت ما از مفهوم ترکیب کلی در مقایسه با ترکیب فاز بهتر می کند.

۱۰

Scanned by CamScanner

۱-۴-۹ روش محاسباتی

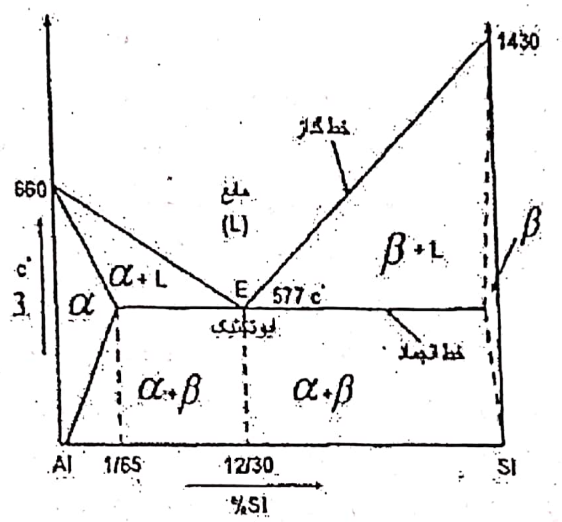
برای مثال با توجه به نمودار تعادلی آلیاژ $AL-Si$ در شکل ۹-۹ و ناحیه دو فازی $\alpha+L$ در شکل ۱۰-۹ (قسمتی از نمودار آلیاژ $AL-Si$) را در نظر گرفته شود، پرسیده می شود که مقادیر نسبی جامد و مایع در آلیاژی با ترکیب کلی ۹۷ درصد آلومینیوم و ۳ درصد سیلیسم وقتی در حالت تعادل در $600^\circ c$ قرار دارد چقدر است؟ به زبان دیگر از روی نمودار معلوم است که در این شرایط جامد و مایع هر دو وجود دارند، اما اگر مخلوط را مورد آزمایش قرار دهیم و جامد و مایع را جداگانه وزن کنیم، هر کدام چند درصد از وزن کل آلیاژ را تشکیل می دهند.

برای این کار، با ساختن مذاب همگنی از ۹۷ گرم آلومینیوم و ۳ گرم سیلیسم در $700^\circ c$ شروع شود. اکنون آلیاژ تماما مایع را تا $600^\circ c$ سرد نموده. اگرچه در این حالت دو فاز موجود است ولی در آنها در مجموع باید همان ۳ گرم سیلیسم وجود داشته باشد، یعنی مقدار سیلیسم در α، بعلاوه مقدار آن در فاز مایع، باید مساوی ۳ گرم باشد. همچنین اضافه شود که با استفاده از اطلاعات به دست آمده از خط بست در $600^\circ c$، ترکیب شیمیایی فاز های موجود را به صورت زیر استخراج می شود (شکل ۱۰-۹).

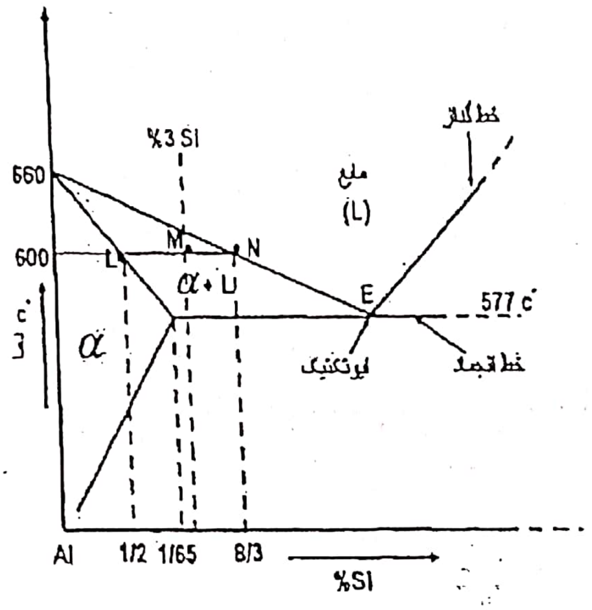
$$\alpha:\%98/8AL,\%1/2Si$$

$$L:\%91/7AL,\%8/3Si$$

Scanned by CamScanner



شکل ۹-۹. نمودار تعادلی آلیاژ آلومینیوم ــ سیلیسیم ($AL-Si$)



شکل ۱۰-۹ محاسبه مقدار فاز ها با استفاده از نمودار فاز ی

اگر وزن فاز α را x گرم، فرض شود، وزن مایع برابر خواهد بود x − ۱۰۰ و در نتیجه، مقدار کل Si برابر است با

(نسبت Si در L) × (وزن L) + (نسبت Si در α) × (وزن α) = مقدار کل Si

بنابراین خواهیم داشت (در دمای ۶۰۰°c شکل ۱۰-۹).

۲ = (x) (۰/۰۱۲) + (۱۰۰ − x) (۰/۰۸۳)

−۵/۲ = −۰/۰۷x

x = ۷۴/۶

بنابراین ۷۴/۶ درصد وزنی α و ۲۵/۴ درصد وزنی مایع وجود دارد.

۱۳

Scanned by CamScanner

۲-۴-۹ روش ترسیمی

در این روش که به قانون اهرم معکوس معروف است، می توان ابتدا خط افقی در دمای مورد نظر ($400^\circ c$) رسم و سپس یک خط عمودی از ترکیب نیز رسم نمود.

قانون اهرم معکوس می گوید که درصد α برابر است با $\left(\frac{MN}{LN}\right)\times 100$ و درصد

مایع برابر است با $\left(\frac{LM}{LN}\right)\times 100$

طبق محاسبات خواهیم داشت :

$$\alpha \text{ درصد } = \frac{8.3-3}{8.3-1.2}\times 100 = 74.6$$

$$(\text{مایع}) L \text{ درصد } = \frac{3-1.2}{8.3-1.2}\times 100 = 25.4$$

چون مذاب اولیه ۱۰۰ گرم بود، بنابراین ۷۴/۶ گرم α و ۲۵/۴ گرم مایع خواهد بود. توجه شود که این در صدها با درصد هایی که به روش جبری بدست آمدم مساوی اند.

۹-۵ قانون فاز ها

قانون فاز ها همانگونه که اشاره شد به وسیله J.W.Gibbs تدوین شده است و می گوید

$$F = C - P + 2$$

با توجه به فشار یک اتمسفر، رابطه فوق را می توان به صورت زیر نوشت

$$F = C - P + 1$$

با توجه به نمودار اشاره شده (شکل ۱۰-) در مناطقی که یک فاز وجود دارد مثل مایع (L) درجه آزادی برابر است با :

$$F = 2 - 1 + 1$$
$$F = 2$$

پس برای معین کردن مشخصات کامل یک مایع، در ناحیه تک فاز مایع باید دو چیز را مشخص کرد و ثابت نگه داشت (به عبارت دیگر، در این ناحیه با تغییر دادن دو عامل می توان همچنان مایع داشت)، ترکیب شیمیایی و دما. درجه آزادی در نقطه ایوتکتیک برابر است با صفر. یعنی اگر دو جزء متشکله (C) و سه فاز (P) وجود داشته باشد، درجه آزادی نخواهیم داشت، مثلاً ایوتکتیک در یک نمودار دوتایی در دما و ترکیب خاصی صورت می گیرد و ما آن را تعیین نکردیم.

$$F = 2 - 3 + 1$$
$$F = 0$$

۴ـ ۹ آهن و آلیاژ های آن

آهن یکی از مهمترین فلز صنعتی است و کمتر دستگاهی یافت می شود که قطعات حساس آن آهنی نباشد. آهن میتواند آلیاژ های متعددی و با خاصیت مکانیکی معینی بدست آورد. آلیاژ های آهنی نیز بدلیل تعدد و کاربرد شان از مهمترین آلیاژ های صنعتی محسوب می گردد. بنابراین در این بخش به خصوصیات این فلز و در بخش های بعدی به آلیاژ های آن می پردازیم.

۱-۴-9 آهن

آهن همانند بسیاری از فلزات دیگر به صورتی عنصری، در پوسته زمین وجود ندارد. آهن معمولا به شکل ترکیب با اکسیژن و یا گوگرد در پوسته زمین یافت می شود. اکسید آهن به شکل Fe_2O_3 یا هماتیت و سولفید آهن یا پیریت FeS2 اشکال مرسوم ترکیبی آهن در طبیعت می باشند. اکسید آهن سنگ نرمی است که کاربرد محدودی دارد. برای استخراج آهن از سنگ معدن آهن، معمولا بوسیله حذف اکسیژن از طریق افزودن برخی از عناصر مثل کربن استفاده می شود. مشخصات کلی فلز آهن بدین صورت است که در جدول تناوبی در گروه ۴ و در ستون ۸ قرار دارد. وزن اتمی آن ۵۶ و دارای چهار مدار الکترونی با ۲ الکترون در مدار خارجی است. نقطه ذوب آهن ۱۵۳۹ و نقطه جوش آن تقریباً ۳۰۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. آهن جزو فلزات آلوتروپی میباشد (تعدادی عنصر فلزی هستند که خاصیت آلوتروپی دارند، یعنی درفشار اتمسفری (یا ثابت) و در دماهای مختلف ساختار های کریستالی و ملکولی متفاوتی دارند). چون آهن فلز صنعتی مهمی است به آلوتروپهای آن اسم های خاصی داده اند. α، γ و δ نامهایی هستند که به آلوتروپهای آهن نسبت داده اند. آهن آلفا (α-Fe) آهنی است که ساختارB.c.c با شبکه ثابت $a = ۲.۸۶\ A^\circ$، دارد و از دمای ۷۲۳- تا ۹۱۱ درجه سانتیگراد پایدار می باشد. آهن گاما (γ- Fe)، آهنی که ساختار F.c.c با شبکه ثابت $a = ۳.۶۳\ A^\circ$، دارد و در دمای ۹۱۱ تا ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد پایدار است. δ – Fe یا آهن دلتا آخرین فاز آهن است که از دمای ۱۴۰۱ تا نقطه ذوب آهن (۱۵۳۹ c°) پایدار است و ساختار B.c.c با شبکه ثابت $a = ۲.۹۲\ A^\circ$، دارد.

آهن(β) جزء آلوتروپ های آهن نیست، اما شامل منطقه ای است که به همراه آهن γ و آهن δ پارا مغناطیس هستند یعنی خاصیت مغناطیسی از خود نشان نمی دهند. آهن β شامل منطقه ی دمایی ۷۶۹ تا۹۱۲ درجه سانتیگراد میشود. آهن که زیر دمای $769\ c^\circ$ (دمای کوری) است به آهن فرو مغناطیس، آهنی که خاصیت مغناطیسی از خود نشان می دهد، معروف است.

anned by CamScanner

Scanned by CamScanner

۲-۶-۹ کربن

با توجه به اینکه کربن مهمترین عنصر سازنده آلیاژ های آهنی میباشد قبل از بررسی آلیاژهای آهن، نکاتی چند در مورد این عنصر میپردازیم. جرم اتمی کربن ۱۲٫۰۱ میباشد و تعداد الکترونهای مدار خارجی آن ۴ و دارای ۲ مدار الکتریکی است. ضمنا ظرفیت کربن ۲ و ۴ میباشد. نقطه ذوب و جوش کربن بترتیب ۳۵۴۰ و ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد و وزن مخصوص آن $2.2 \frac{gr}{cm^3}$ است. قابلیت کششی ندارد و ساختمان آن شش وجهی با شبکه ثابت $a = 2.456\ A^{\circ}$ و $c = 6.69\ A^{\circ}$ است.

۷-۹ آلیاژهای آهن

همانگونه که گفته شد مهمترین آلیاژهای آهنی، آلیاژ آهن و کربن میباشد. آلیاژهای آهن-کربن با توجه به مقدار درصد کربن در آهن به دو دسته عمده یعنی فولاد و چدن تقسیم شده است. فولاد، آلیاژهای آهن و کربنی هستند که تا ۲ درصد کربن دارند، ولی چدن به اندسته از آلیاژهای آهنی گفته میشود که بیش از ۲ در صد کربن داشته باشد. خواص مکانیکی فولاد، از خواص چدن بالاتر است. فولاد را می توان آب داد، نورد و آهنگری کرد. فولاد بسیار نیرومند و شکل پذیر است و به آسانی قابل تراش کاری است.

آهن بسته به درجات حرارت مختلف و در صدهای معین کربن میتواند مقدار معینی از کربن را در خود حل نماید و فاز محلول جامد تشکیل دهد. ولی هرگاه درجات حرارت از حد معینی پائین بیاید میتواند با کربن به صورت ترکیب شیمیایی ظاهر شود. بطور کلی در آلیاژهای آهن مهمترین فاز ها عبارتند از:

الف – فاز فریت

اگر کربن در آهن α حل شود، محلول جامد آهن آلفا تشکیل می گردد که به آلیاژ حاصل فریت می گویند. این انحلال به صورت بین نشینی است واز ۰٫۰۰۸% در دمای محیط تا حداکثر ۰٫۰۲۵% در ۷۲۳ درجه سانتیگراد متغیر است. چون انحلال کربن در فریت بسیار کم است و این فولاد ساده کربنی به آهن خالص نزدیک است، به فریت، آهن α هم می گویند. در این نوع انحلال، کربن در فضاهای خالی نزدیک به مرکز وجوه مکعب قرار می گیرد. با انحلال کربن در آهن ساختار کریستالی حفظ می شود و این محلول بسیار پایدار است و خواص فلزی را با وجود داشتن پیوندهای غیر فلزی در خود حفظ کرده است.

Scanned by CamScanner

ب- فاز اوستنیت

به محلول بین نشینی کربن در آهن گاما، اوستنیت می گویند. حداکثر میزان کربن در فاز اوستنیت ۲ در صد است که در دمای c° ۱۱۳۰ پایدار است. همانگونه که قبلا گفته شد ساختار آهن گاما، F.C.C است و کربن در وسط مکعب و وسط اضلاع قرار گرفته است که در رئوس و مرکز وجوه مکعب اتمهای آهن جای دارند.

ج - فاز سمنتیت (کربور آهن)

اگر در صد کربن در فولاد ها بیشتر از حد حلالیت آن در استنیت و یا فریت بالشد، کاربید آهن یا سمنتیت با فرمول شیمیایی Fe_3C به وجود می آید. این فاز که کاملاً متفاوت از آوستنیت و فریت است، ساختار پیچیده ای دارد. ساختار آن اورتورمبیک بوده به صورتی که در رئوس آن اتمهای آهن و در مرکز آن اتمهای کربن قرار دارند. حداکثر انحلال کربن در سمنتیت ۶.۶۷% است. سمانتیتی که از مذاب بوجود می آید سمنتیت اولیه و سمنتیت تحت تحول یوتکتیك را، سمنتیت ایوتکتیک، سمانتیتی که از آوستنیت رسوب می کند، سمنتیت ثانویه، سمنتیت تحت تحول ایوتکتوید را، سمنتیت ایوتکتوید و خلاصه سمانتیتی که کمتر از ۰.۰۲۵ در صد کربن از سرد کردن فریت بوجود می آید و در مرز دانه ها رسوب می کند، سمنتیت سومین می گویند.

د - فاز پرلیت

به مخلوط ایوتکتوئیدی فریت بعلاوه سمنتیت پرلیت می گویند. فاز پرلیت، یک مخلوط مکانیکی فریت و سمنتیت ایوتکتوئیدی که از فاز آوستنیت طی واکنش فازی ایوتکتوید در دمای ۷۲۳ درجه سانتیگراد و در ترکیب ۰.۸۳٪ در صد کربن بدست می آید.

ه-فاز لدبوریت

به مخلوط ایوتکتیك آوستنیت بعلاوه سمنتیت اولیه لدبوریت گویند. فاز لدبوریت در دمای ۱۱۳۰ درجه سانتیگراد و ترکیب ۴/۳ در صد کربن طی واکنش فازی ایوتکتیک بدست می آید.

در آلیاژ های آهن، فاز های دیگری نیز می توان توسط عملیات حرارتی ایجاد که برخی از آنها که در آلیاژ های فولاد ایجاد می گردند عبارتند از:

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

@TM_Mechanic

و- فاز بنیت

این فاز توسط عملیات حرارتی بدین صورت تشکیل می شود که، اگر به آلیاژ فولاد حرارت داده شود تا منطقه آوستنیت و در آن منطقه نگه داشته شود تا تمام فاز های موجود در فولاد به فاز آوستنیت (فاز گاما) تبدیل شوند. سپس از منطقه آوستنیت تا دمای ۴۰۰ الی ۴۵۰ درجه سانتیگراد سرد و از دمای فوق سریع به دمای محیط یا اتاق آورده شود، فاز بنیت ایجاد می گردد. مخلوط مکانیکی که در فاز پرلیت وجود دارد در فاز بنیت نیز است با این تفاوت که در حین سرد کردن سریع فاز سمنتیت رسوب شده ریز و یکنواخت تر است. به همین دلیل (توزیع یکنواخت سمنتیت ریز در فریت)، فاز بنیت نسبت به فاز پرلیت استحکام و سختی بهتری دارد.

ز- فاز مارتنیست

فاز مارتنیست را نیز توسط عملیات حرارتی در آلیاژ های فولاد میتوان بدست آورد. چنانچه به آلیاژ فولادی دما داده شود تا منطقه آوستنیت و در آن دما نگه داشته شود تا در داخل فولاد فقط محلول جامد آهن گاما ایجاد گردد. و سپس محلول جامد آهن گاما با سرعت زیاد تا دمای اتاق سرد شود، فاز مارتنیست بدست می آید. ساختمان این فاز دارای چهار وجهی (تتراگونال) با مرکز پر است. به جهت اینکه این فاز از سریع سرد شدن فاز آوستنیت بدست آمده است و به سمنتیت فرصت داده نشده رسوب کند، لذا در فاز مارتنیست کربن حل شده بیش از حد معمول وجود دارد، بنابراین این فاز را محلول جامد فوق اشباع نیز می گویند. فاز مارتنیست، فازی است بسیار سخت، ترد و شکننده و ضمنا چون ناپایدار و پر تنش نیز است، برای استفاده های عملی چندان مناسب نیست بلکه این فاز را بیشتر بعنوان فاز واسطه جهت ایجاد فاز های دیگر در فولاد ها بکار می برند.

۸-۹ نمودار تعادلی (فازی) آهن - کربور آهن

نمودار تعادلی آهن و کربن مربوط به تبدیلاتی است که در آلیاژ هایی با ترکیبات، از آهن خالص تا کربور آهن (۶/۶۷ در صد کربن) به وقوع می پیوندند. با کمک نمودار تعادلی آهن و کربور آهن، میتوان فاز های مختلف آلیاژهای آهن را نشان داد. همانگونه که در نمودار (شکل ۱.۱-۹) مشخص است، مقدار کربن در آهن در دمای محیط ۰/۰۰۸ در صد است و هر چه دما بتدریج زیاد می شود، مقدار کربن قابل حل در آهن نیز افزایش مییابد بطوری که در درجه حرارت $723^{\circ}C$، مقدار حلالیت کربن در آهن به حداکثر میرسد. بنابراین از دمای $^{\circ}C$

d by CamScanner

Scanned by CamScanner

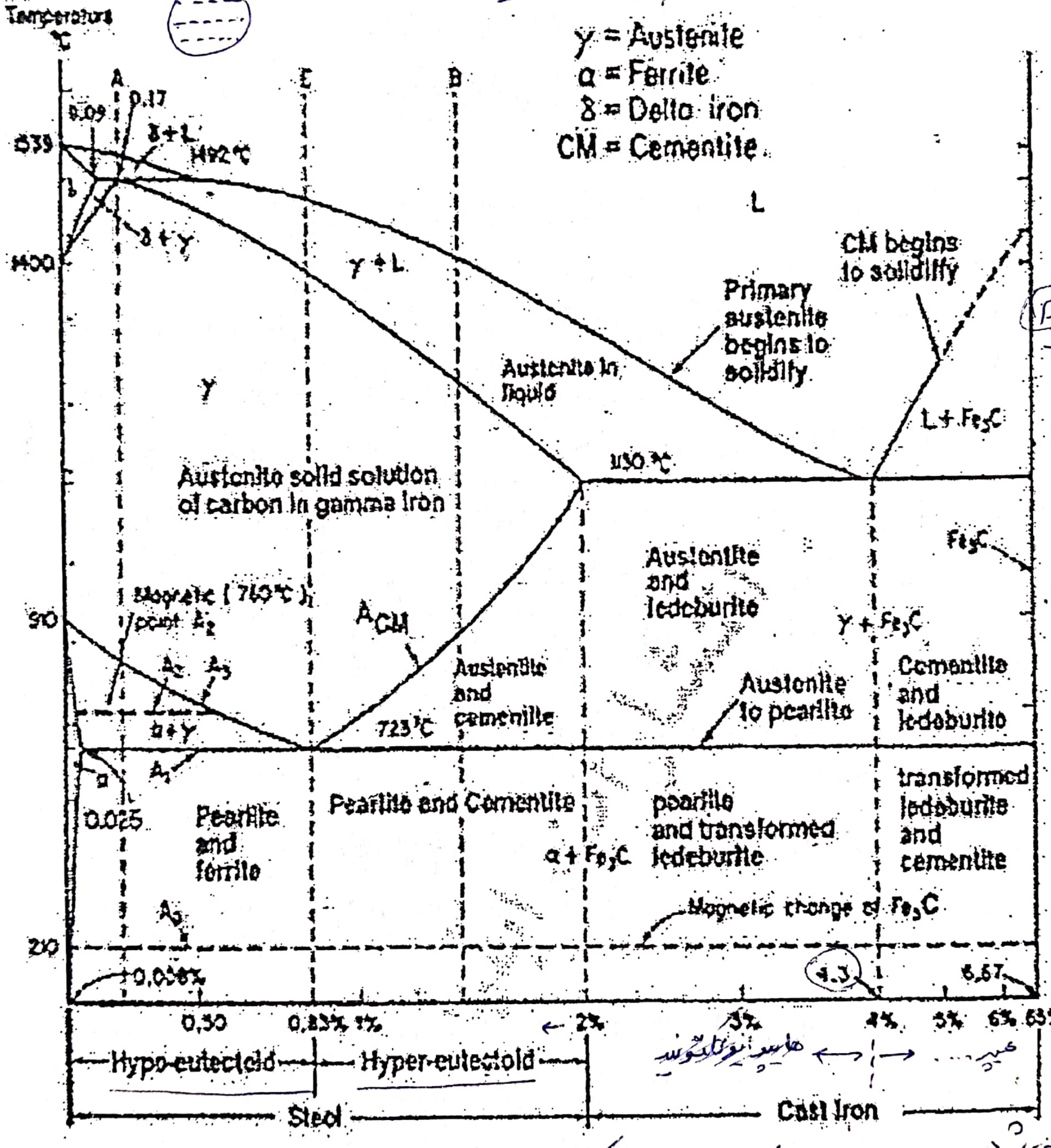
۷۲۳ تا درجه حرارت محیط، آهن دارای ساختمان بلوری B.c.c بوده، البته این ساختمان در حالی بصورت صد در صد است که مقدار کربن در آهن کمتر از ۰/۰۲۵ در صد باشد. لازم به ذکر است که حداکثر حلالیت کربن در آهن آلفا (ساختمان B.c.c.) ۰/۰۲۵ در صد در دمای c° ۷۲۳ است. هر چه درجه حرارت بالا یا پائین تر از این دما (c ۷۲۳) برود، مقدار کربن کمتری در آهن آلفا حل می شود. آهن آلفا ئی که دارای کربن حل شده داشته باشد، فاز فریت یا محلول جامد آهن آلفا نامیده می شود.

از دمای c° ۷۲۳ به بالا، مقدار حلالیت کربن در آهن آلفا کمتر می شود تا وقتی که درجه حرارت به حدود ۹۱۰ درجه سانتیگراد برسد. قابل ذکر است که دمای c° ۹۱۰، دمایی است که آهن آلفا (B.c.c) به آهن گاما (F.c.c.) تبدیل می شود. در این آهن نیز کربن حل می گردد. اگر کربن در آهن گاما حل گردد، تشکیل محلول جامد آهن گاما میدهد و به این محلول جامد (محلول جامد آهن گاما) فاز آوستنیت میگویند. حداکثر حلالیت کربن در آهن گاما ۲ در صد در دمای ۱۱۳۰ درجه سانتیگراد است. هر چه حرارت از دمای ۱۱۳۰ درجه سانتیگراد بالا و پائین بیاید، در صد حلالیت کربن در آهن گاما کمتر می شود.

شایان ذکر است که در محدوده دمای محیط تا ۱۱۳۰ درجه سانتیگراد، اگر کربن در آهن های آلفا و گاما حل نگردد، کربن بصورت ترکیب شیمیائی کر بور آهن ظاهر می گردد که فاز سمنتیت یا کربور آهن را تشکیل می دهد. این فاز را (سمنتیت)، با Fe₃C نیز نشان میدهند.

از دمای ۱۱۳۰ درجه سانتیگراد به بالا، مقدار حلالیت کربن در آهن گاما کمتر می شود تا وقتی که درجه حرارت به حدود c° ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد برسد. در دمای c° ۱۴۰۰ آهن گاما

Scanned by CamScanner



شکل ۱۱-۹ نمودار تعادلی آهن و سمنتیت (Fe3C)

انعطاف پذیر - چکش خوار و شکل

۱۵۰۰°C ذوب می‌شود.

خطر ترک دارد چون

به آهن دلتا تبدیل می شود. در این آهن نیز کربن حل می شود. اگر کربن در آهن دلتا حل شود، محلول جامد آهن دلتا تشکیل میگردد. حداکثر حلالیت کربن در آهن دلتا ۰۹/. در صد در دمای ۱۴۹۵ درجه سانتیگراد است.

فلز های اشاره شده فوق و دیگر فلز های تعادلی آلیاژ های آهن در نمودار شکل ۱۱- ۹ نشان داده شده است.

9- ۹ انواع و اقسام فولاد ها

همانگونه میدانیم یکی از مهمترین آلیاژ های آهن را فولاد ها تشکیل میدهند. فولاد به آلیاژ آهنی گفته می شود که حداکثر ۲ یا کمتر از ۲ در صد کربن داشته باشد. امروزه تعریف فوق نمی تواند تمام فولاد ها را شامل شود زیرا فولاد هایی وجود دارند که مقدار عناصر آلیاژی متشکله آنها گاه بسیار زیاد است.

ترکیبی از استحکام بالا و قابلیت چکش خواری، فولاد ها را از دیگر آلیاژ ها و مواد فلزی متمایز می سازد. فولاد ها در مقابل اعمال تنش های متغیر و نیروهای ضربه ای بسیار مقاوم بوده و از طرف دیگر امکان استفاده از آنها در درجات حرارتی زیر صفر (c ۱۰۰-) و حرارتی بالا(تا c ۸۰۰ و گاه بالاتر از آن) وجود دارد. استفاده از عناصر آلیاژی نظیر نیکل، کبالت،مولیبدن و تنگستن ، این خانواده از آلیاژ های صنعتی را برای مصرف در درجات حرارتی بالا مناسب نموده است.

چون تعداد و انواع فولاد ها بسیار زیاد است و خواص آنها اعم از مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و متالورژیکی نیز بسیار متنوع می باشد و به علاوه با عملیات مختلف نظیر ریخته گری، مکانیکی (شامل نورد،کشش،فشار و ...) عملیات حرارتی (دوباره پخت،آب دادن برگشت و غیره)، عملیات شیمیایی (مانند سمانتاسیون، نیترو راسیون، سیانوره و ...)، تغییر حالت می دهند، لذا مطالعه کامل فولاد ها بسیار مفصل و طولانی است به همین علت در این قسمت فقط به مطالعه فولاد های که در صنعت از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند پرداخته می شود.

بطور کلی فولاد ها به دو دسته فولاد های کربنی و آلیاژی تقسیم می شوند.فولاد های کربنی خود به سه دسته:

الف - فولاد های کم کربن (تا ۲/. درصد کربن)،

ب - فولاد های میان کربن(۲/. تا ۵/. در صد کربن) و

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

ج - فولاد های پر کربن(بالای ۵/. درصد کربن)تقسیم می گردند.

فولاد های آلیاژی نیز به ۳ گروه کم آلیاژی (تا حدود ۵/۲ درصد عنصر آلیاژی)، میان آلیاژی (۵/۲ تا ۱۰ درصد) و پر آلیاژی (بالای ۱۰ درصد) تفکیک می شوند. توضیح آن که در بیشتر موارد فولاد های آلیاژی را به دو دسته کم آلیاژی (تا ۵/. درصد عناصر آلیاژی) و آلیاژی (بالای ۵%) تقسیم بندی می نمایند.

ضمناً، فولاد های ریختگی بر حسب نوع ساختار میکروسکوپی آنها به صورت زیر (۲) طبقه بندی می شوند:

الف - هایپو ایوتکتوئید

این نوع فولاد که دارای فریت آزاد (نه فریتی که به همراه سمنتیت تشکیل پرلیت را می دهد) می باشد. چنین ساختاری ویژه فولاد های کربنی و کم آلیاژی است. ذکر این نکته ضروری است که مفهوم فوق آن نیست که در ساختار میکروسکوپی این نوع فولاد فقط فریت آزاد وجود دارد بلکه وجود فریت آزاد قطعی بوده و در کنار آن فاز های دیگری نظیر پرلیت و غیره نیز وجود دارند.

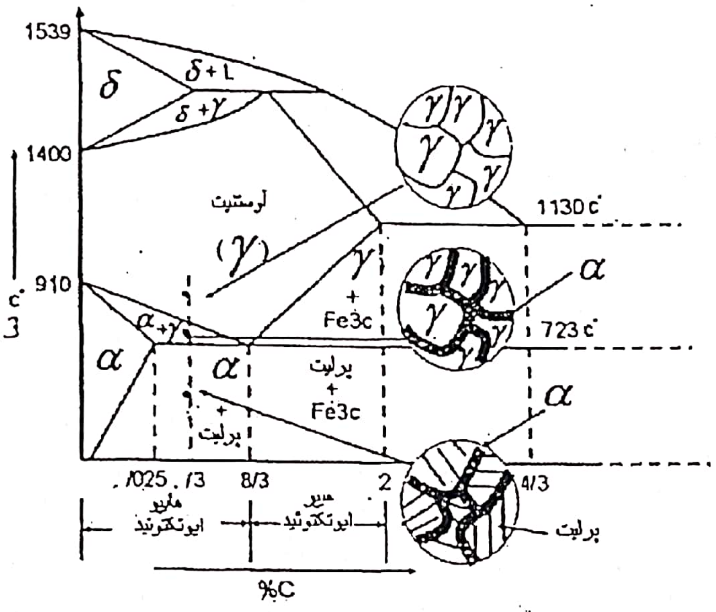
ب - هیپر ایوتکتوئید

در ساختار این نوع فولاد ،کاربید آزاد (نظیر Fe_3C) که اصطلاحاً کاربید ثانویه نامیده میشود وجود دارد. نظیر فولاد های پرکربن(83/. تا 1/7 درصد کربن)، فولاد های میان آلیاژی و پر آلیاژی.

تغییرات ساختاری فولاد های هایپو و هیپر ایوتکتوئید در اشکال a و b ۱۲-۹ دیده می شود. در شکل a۱۲-۹ یک نمونه از فولاد ۳/. در صد کربن (فولاد هایپو ایوتکتوئید) از حالت مذاب (L) دنبال می شود. مهمترین تغییرات در هنگام سرد شدن در محدوده ۷۲۳ تا ۸۷۰ درجه سانتیگراد صورت می گیرد، فاز فریت (α) در دمای حدود ۸۵۰°c شروع به رسوب در مرز های دانه های آوستنیت می کند. این عمل تا دمای ۷۲۳°c ادامه دارد، و در نتیجه، در صد کربن فاز گاما از ۳/. تا ۸۳/. تغییر می کند. در دمای ۷۲۳°c ، طی واکنش ایوتکتوئید در دمای ثابت، یعنی فاز آوستنیت باقی مانده به پرلیت ($\alpha+Fe_3C$) که یک مخلوط مکانیکی با ساختمان لایه لایه است تبدیل می شود.

Scanned by CamScanner

Scanned by CamScanner

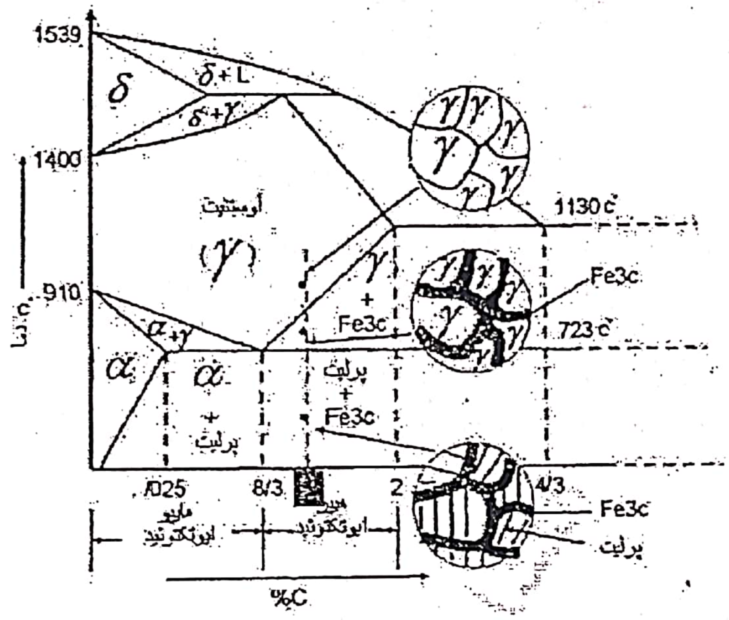


شکل a ۱۲-۹ تغییرات ساختاری یک فولاد هایپو ایوتکتوئید (۳/. در صد کربن)

شکل b ۱۲-۹ ، سرد شدن یک فولاد حاوی یک درصد کربن (فولاد هیپر ایوتکتوئید) را نشان میدهد. در این فولاد محدوده مهم دمای ۷۲۳ تا حدود ۸۲۰ درجه سانتیگراد است. توجه شود که از دمای c° ۷۲۳ تا c° ۷۹۰ یک فاز شکننده سمنتیت (Fe_3c) در مرزهای دانه ای آوستنیت رسوب می کند، گرچه مقدار این فاز (Fe_3c) فقط ۳/۵ در صد کربن است. این فاز با فاز فریت اولیه شکل پذیری که در فولاد حاوی ۳/. در صد کربن رسوب می کند کاملا متفاوت است. اما واکنش ایوتکتوئید (تبدیل آوستنیت باقی مانده به پرلیت) در هر دو مورد یکسان است. ضمنا آوستنیت حاوی ۸/. یا همان ۸۳/. در صد کربن به مخلوط مکانیکی به صورت فاز پرلیت تشکیل میدهد. این نوع فولاد ها (پر کربن) اگر به صورت آهسته سرد شود، خواص چندان خوبی ندارند، برای مثال، ازدیاد طول به علت وجود شبکه شکننده فاز سمنتیت کمتر از ۵ در صد است. اما اگر این آلیاژ ها تا دمای حدود c° ۸۲۰ حرارت داده شوند تا سمنتیت دو باره به فاز آوستنیت تبدیل گردد، سپس به سرعت تا زیر دمای c° ۷۰۰ سرد شود تا مخلوط ریزی از فاز فریت و کربور تبدیل گردد، فولاد با شکل پذیری بهتر بدست خواهد

Scanned by CamScanner

آمد. بطور کلی شکل پذیری و چقرمگی فولاد های هیپر ایوتکتوئید کمتر از انواع هایپو ایوتکتوئید است چون مقدار فاز سمنتیت آنها زیاد است.



شکل b ۱۲-۹ تغییرات ساختاری یک فولاد هیپر ایوتکتوئید (۱ در صد کربن)

۱-۹-۹ فولاد های کربنی ساده

فولاد های کربنی بیشترین تناژ تولید قطعات ریختگی فولادی را به خود اختصاص می دهد. فولاد های کربنی ساده فولاد هایی هستند که عناصر آلیاژی ندارند و فقط عنصر اصلی آنها کربن است. اما در این نوع فولاد ها عمدا یا سهوا عنصر های دیگری بغیر از کربن وجود دارد که بعنوان عناصر آلیاژی محسوب نمیشوند. معمولا فولاد های کربنی ساده متشکل از کربن، منگنز، سیلیسیم، فسفر و گوگرد می باشند. کربن بیشترین تاثیر را در خواص مکانیکی قطعات تولیدی بر عهده داشته، فسفر و گوگرد عناصر نامطلوب (به استثنا فولاد های خوش تراش که درصد گوگرد در آن را به منظور سهولت تراش فولاد، حدود ۱ درصد در نظر می گیرند) می باشند. گوگرد از سیالیت مذاب فولاد کاسته و تمایل به ایجاد ترکهای حرارتی گرم

را (که در جریان انجماد قطعه پیش می آید) افزایش می دهد. فسفر نیز موجب تنزل مقاومت قطعات ریختگی در مقابل ضربه شده و با افزایش مقدار آن در فولاد مقاومت قطعات در برابر ضربه شدیدا (به خصوص در درجات حرارتی پایین) کاهش می یابد. به دلایل فوق مجموع فسفر و گوگرد در فولاد نبایستی از مرز ۱/. درصد تجاوز نماید.

با افزایش مقدار کربن در فولاد، استحکام نهایی، سختی و تنش تسلیم قطعات افزایش یافته و در مقابل از درصد ازدیاد طول نسبی، درصد کاهش سطح مقطع کششی و مقاومت در مقابل ضربه آنها کاسته می شود.

در مواردی که به استحکام و خواص مکانیکی بالایی نیاز نباشد فولاد های ساده کربنی بسیار مطلوب اند. این نوع فولاد ها به خوبی در دماهای معمولی و در محیط هایی که چندان خورنده نیستند به کار می روند، ولی سختی پذیری کم، مستحکم شدن آنها را به استثنای قطعاتی با مقطع نازک، محدود می کند. تقریبا تمام فولاد های سخت شده را برای رفع تنشهای درونی باز پخت می کنند. در بخش قبل گفته شد که فولاد های ساده کربنی، با افزایش دما بسیار نرم می شوند. این رفتار، محدودیت هایی در کاربرد این نوع فولاد ها در دمای های بالا به وجود آورده است. بیشتر محدودیت های فولاد های ساده کربنی را می توان با افزودن عنصر های آلیاژی برطرف کرد.

۲-۹-۹ فولاد آلیاژی

فولاد های آلیاژی فولاد هایی هستند که بغیر از کربن، عنصر یا عناصر آلیاژی دیگری نیز دارند. فولاد آلیاژی را می توان به عنوان فولادی تعریف کرد که خواص مشخصه آن از عنصردیگری به غیر از کربن ناشی می شود. گرچه فولاد های ساده کربنی هم مقداری منگنز(تا حدود ۹/. در صد) و سیلیسیم (تا حدود ۳/.%)دارند، ولی آنها را فولاد آلیاژی نمی نامیم، چون این عنصرها برای اکسید زدایی به فولاد افزوده شده اند. کار این عنصر ها ترکیب شدن با اکسیژن و گوگرد برای کاهش اثرات مضر آنهاست. در صنعت، برخی از عناصر آلیاژی به آهن افزوده می شوند و فولاد و سایر آلیاژهای آهنی را می سازند. به عنوان مثال، آهن در محیط های خورنده متوسط با سرعت بیشتری با مکانیسم پوسته برداری و غیره خورده می شود. در حالیکه با افزودن عناصری چون مس و کروم مقاومت به خوردگی آن تا حد زیادی افزایش می یابد. همچنین، آهن خالص استحکام بسیار پایینی دارد که مناسب

Scanned by CamScanner

کاربردهای صنعتی نمی باشد. لذا از افزودن عناصری مثل نیکل، کروم و مولیبدن برای افزایش استحکام استفاده می شود. بسیاری از این تغییرات مفید در خواص مکانیکی مربوط به تبدیل آهن آلفا به گاما و بالعکس و نیز اختلاف زیاد در قابلیت انحلال کربن در ساختار های شبکه ای می باشد. بسیاری از عناصری که به فولادهای افزوده می شوند خواص فولاد را بهبود می بخشند. ولی برخی از عناصر پس مانده‌ی نیز وجود دارند که اثرات غیر مفیدی نیز دارند. در کل عناصر را به دو گروه فریت زا و آستنیت زا تقسیم کرده اند. در این تقسیم بندی، تاثیر هر کدام از عناصر معین بر تغییر دگرگونی در ساختار زمینه آلیاژ در نظر گرفته شده است. برخی از این عناصر در تمامی رژیم حرارتی دارای یک آلوتروپی هستند(Al و Ni) ولی برخی دیگر نیز توانائی تغییر ساختار شبکه ای خود در محدوده دمایی مختلف دارند (Fe). عناصر فریت زا از رشد فاز آستنیت جلوگیری کرده و باعث پایداری فاز فریت در زمینه می شود. ولی عناصر آستنیت زا رفتار معکوسی داشته و سبب پایداری فاز آستنیت می شوند. تاثیر عناصر آلیاژی بر رفتار کریستالوگرافیکی زمینه آهنی به سادگی آنچه که در بالا ذکر شده، نیست. اثر این عناصر تنها به انبساط و انقباض در ساختار خلاصه نمی شود. بلکه بین عناصر آلیاژی و آهن واکنش هایی بین الکترون های والانس نیز رخ می دهد. مع هذا، باید به خاطر سپرد که ساختار اصلی عناصر آلیاژی نشان دهنده نوع رفتار آن در هنگام افزودن به آهن نمی باشد. به عنوان مثال، فلز آلومینیوم ریزساختار fcc داشته ولی در ترکیب آهن فریت زا بسیار قوی است و اگر درصد آن از ۱% کمی بیشتر شود، بطور کامل از تبدیل فریت آلفا به آستنیت جلوگیری می کند. هم چنین، سیلیس با ساختار مکعبی الماسی در ساختار آهن نقش فریت زایی دارد و افزودن ۳% از آن به آهن باعث پایداری فریت در ریزساختار می شود. با این وجود اگر بخواهیم تاثیر عناصر فریت زا و آستنیت زا را در کنار هم در ساختار بررسی کنیم، بایستی به توازن موجود بین این عناصر دقت نمائیم. هرچند که در عمل چنین توازن خالصی وجود ندارد. بطور کلی عنصرهای مختلف با اهداف مختلفی به فولاد افزوده می شوند.مهمترین اهداف عبارتند از:

الف - افزایش سختی پذیری

ب - افزایش استحکام در دماهای معمولی

ج - افزایش خواص مکانیکی در دماهای بالا و پایین

د - افزایش چقرمگی در هر سختی و استحکام

ه - افزایش مقاومت سایشی

و - افزایش مقاومت در برابر خوردگی

ز - بهبود خواص مغناطیسی

۹-۱۰ چدن

طبق تعریف، آلیاژ های آهن و کربن با بیش از ۲ درصد کربن، چدن نام دارد. بعبارت دیگر، میتوان چدن را آلیاژ آهن و کربن دانست که کربن موجود در آن بیش از قابلیت حلالیت آوستنیت (γ) در دمای ایوتکتیک است. معمولا در چدنها نیز عناصر آلیاژی جهت بهبود کیفیت چدن برای مصارف ویژه به آن افزوده می شود. آلیاژ های چدن در کارهای مهندسی که در آنها چدن معمولی ناپایدار است به کار میروند. اساسا خواص مکانیکی چدن به زمینه ساختاری آن بستگی دارد و مهمترین زمینه ساختار چدن‌ها عبارتند از: فریتی، پرلیتی، بینیتی و آستینتی.

۹-۱۱ طبقه‌بندی چدن‌ها

چدن ها به دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند، آلیاژهایی برای مقاصد عمومی که موارد استعمال آنها در کاربردهای عمده مهندسی است و آلیاژهای با منظور و مقاصد ویژه از جمله چدنهای سفید و آلیاژی که برای مقاومت در برابر سایش، خوردگی و مقاوم در برابر حرارت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۹-۱۱-۱ چدن های معمولی (عمومی)

این چدن ها جزو بزرگترین گروه آلیاژهای ریختگی بوده و براساس شکل گرافیت به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

الف - چدن های خاکستری

Scanned by CamScanner

در این نوع چدن، قسمت عمده کربن به صورت گرافیت بوده و کربن باقی مانده تماما در کربور ایوتکتوئید ترکیب شده است. چدن های خاکستری جزو مهمترین چدن های مهندسی هستند که کاربردی زیاد دارند نام این چدن ها از خصوصیات رنگ خاکستری سطح مقطع شکست آن و شکل گرافیت مشتق میشود. قسمت عمده قطعات ریختنی از جنس چدن خاکستری هستند. در چدن خاکستری، کربن بصورت گرافیت سوزنی شکل می باشد (شکل a ۱۲- ۹) وغالبا گرافیت در چدن خاکستری بسیار ضعیف هستند و هیچگونه استحکامی ندارد و فقط باعث بالا بردن تنش در مقاطع داخلی می شوند. این نوع چدن عملا دارای شکل پذیری صفر است. البته امتیاز عمده چدن خاکستری استحکام فشاری بسیار زیاد، قابلیت جذب انرژی و قابلیت ریخته گری فوقالعاده آن است.

خواص چدن های خاکستری به اندازه، مقدار و نحوه توزیع گرافیت‌ها و ساختار زمینه بستگی دارد. خود این‌ها نیز به کربن و همچنین روی مقادیر جزئی عناصر افزودنی‌های آلیاژی، متغیر های فرایندی مانند، روش ذوب، عمل جوانه زنی و سرعت خنک شدن بستگی پیدا می‌کنند. اما به طور کلی این چدن ها ضریب هدایت گرمایی بالایی داشته، مدول الاستیسیته و قابلیت تحمل شوکهای حرارتی کمی دارند و قطعات تولیدی از این چدن ها به سهولت ماشینکاری و سطح تمام شده ماشینکاری آنها نیز مقاوم در برابر سایش از نوع لغزشی است. این خواص آنها را برای ریختگی هایی که در معرض تنش‌های حرارتی محلی یا تکرار تنشها هستند، مناسب می‌سازد. افزایش میزان فریت در ساختار باعث استحکام مکانیکی خواهد شد. این نوع حساس بودن به مقاطع نازک و کلفت در قطعات چدنی بدنه موتورها مشاهده می شود. دیواره نازک و لاغر سیلندر دارای زمینه‌ای فریتی و قسمت ضخیم نشیمنگاه یا تاقان‌ها زمینه‌ای با پرلیت زیاد را پیدا می‌کند. همچنین در ساخت ماشین آلات عمومی ، کمپرسورهای سبک و سنگین، قالبها، میل لنگها ، شیر فلکه‌های اتصالات لوله‌ها و غیره از چدنهای خاکستری استفاده می‌شود.

ب ـ چدن های مالیبل یا چکش خوار

در این نوع چدن کربن به صورت گرافیت نرم و گلبرگ گونه می باشد (d۱۳- ۹). برای تولید این گونه چدن اگر، قطعات ریخته شدن چدن سفید را برای مدت زیادی در دمای بالا (حدود c° ۹۰۰) بتابانند و سپس به آهستگی سرد شود، سمنتیت تجزیه شده و همه یا قسمتی از کربن آن به صورت گرافیت خیلی نرم و تشکیل ذرات گرده ای و یا گلبرگ

Scanned by CamScanner

گونه در می آید. ماده ای که بدین صورت تهیه شود چدن چکش خوار نامیده می شود. به دلیل توزیع مناسب گرافیت در چدن چکش خوار، خواص مکانیکی این نوع چدن، خصوصا شکل پذیری آن، از چدن خاکستری بهتر است.

چدن های چکش خوار با دیگر چدن ها به واسطه ریخته گری آنها نخست به صورت چدن سفید فرق می‌کنند. ساختار آنها مرکب از کاربیدهای شبه پایدار در یک زمینه‌ای پرلیتی است بازپخت در دمای بالا که توسط عملیات حرارتی مناسب دنبال می‌شود باعث تولید ساختاری نهایی از توده متراکم خوشه‌های گرافیت در زمینه فریتی یا پرلیتی بسته به ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی می‌شود. ترکیب به کار برده شده براساس نیاز های اقتصادی، نحوه باز پخت خوب و امکان جذب و امکان تولید ریخته‌گری انتخاب می‌شود. مثلا بالا رفتن Si، بازپخت را جلو انداخته و موجب عملیات حرارتی خوب و سریعی با سیلیکی کوتاه می‌شود و در ضمن مقاومت مکانیکی را نیز اصلاح می‌نماید. عناصری از جمله Cu و Ni و Mo را ممکن است برای بدست آوردن مقاومت بالاتر یا افزایش مقاومت به سایش و خوردگی به چدن افزود. دلیل اساسی برای انتخاب چدن های چکش خوار قیمت تمام شده پایین و ماشینکاری راحت و ساده آنهاست. کاربردهای آنها در قطعات اتومبیل قطعات کشاورزی ، اتصالات لوله ها ، اتصالات الکتریکی و قطعات مورد استفاده در صنایع معدنی است .

ج - چدن های گرافیت کروی یا نشکن

در چدن نشکن، کربن به صورت گرافیت کروی می باشد (b ۱۲- ۹). به دلیل تفاوت شکل گرافیت استحکام کششی و شکل پذیری این چدن به ترتیب ۲ و ۲۰ برابرنسبت به چدن های چکشخوار و خاکستری است. لازم به ذکر است اگر گرافیتی که از ۱۱۳۰ تا ۷۲۳ c رسوب کند به شکل کروی متبلور می شود.

این چدن در سال ۱۹۴۸ در فیلادلفیای آمریکا در کنگره جامعه ریخته گران معرفی شد. توسعه سریع آن در طی دهه ۱۹۵۰ آغاز و مصرف آن در طی سال های ۱۹۶۰ روبه افزایش نهاده و تولید آن با وجود افت در تولید چدن ها پایین نیامده است. مشخصی از ترکیب شیمیایی این چدن به صورت کربن ۳.۷% ، سیلیسیم ۲.۵، %منگنز 3%،گوگرد 01%.، فسفر 0.01% ومنزیم 0.04% است. وجود منیزیم این چدن را از چدن خاکستری

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

متمایز می‌سازد. برای تولید چدن گرافیت کروی از منیزیم و سریم استفاده می‌شود که از نظر اقتصادی منیزیم مناسب و قابل قبول است. جهت اصلاح و بازیابی بهتر منیزیم برخی از اضافه شونده‌هایی از عناصر دیگر با آن آلیاژ می‌شوند و این باعث کاهش مصرف منیزیم و تعدیل کننده آن است. منیزیم ، اکسیژن و گوگرد زدا است. نتیجتا منیزیم وقتی خواهد توانست شکل گرافیتها را به سمت کروی شدن هدایت کند که میزان اکسیژن و گوگرد کم باشند. اکسیژن‌زداهایی مثل کربن و سیلیسیم موجود در چدن مایع این اطمینان را می‌دهند که باعث کاهش اکسیژن شوند ولی فرآیند گوگردزدایی اغلب برای پایین آوردن مقدار گوگرد لازم است. از کاربردهای این چدن ها در خودروسازی و صنایع وابسته به آن مثلا در تولید مفصل‌های فرمان و دیسک ترمزها ، در قطعات تحت فشار در درجه حرارت های بالا مثل شیر فلکه‌ها و اتصالات برای طرحهای بخار و شیمیایی غلتکهای خشک‌کن نورد کاغذ، در تجهیزات الکتریکی کشتی‌ها، بدنه موتور، پمپ‌ها و غیره است .

د - چدن های گرافیت فشرده یا کرمی شکل

این چدن شبیه خاکستری است با این تفاوت که شکل گرافیت‌ها به صورت کروی کاذب، گرافیت تکه‌ای با درجه بالا و از نظر جنس در ردیف نیمه نشکن قرار دارد. می‌توان گفت یک نوع چدنی با گرافیت کروی است که کره‌های گرافیت کامل نشده‌اند یا یک نوع چدن گرافیت لایه‌ای است که نوک گرافیت گرد شده و به صورت کرمی شکل درآمده‌اند. این چدن ها اخیرا از نظر تجارتی جای خود را در محدوده خواص مکانیکی بین چدن های نشکن و خاکستری باز کرده است.

انتخاب نوع چدن و ترکیب آن براساس خواص و کاربردهای ویژه مربوطه تعیین می‌شود. کلا چدن خاکستری یکی از قدیمی ترین آلیاژ های آهنی است، و چدن نشکن که امروزه کاربرد های زیادی پیدا کرده یکی از جدید ترین آلیاژ هاست. همانگونه که قبلا گفته شد سر سیلندر، میل بادامک، رینگ پیستون و سوپاپ ها از چدن خاکستری ساخته می شوند و میل لنگ و انگشتی سوپاپ از جنس چدن نشکن هستند. پوسته دیفرانسیل از چدن چکشخوار می باشند.

Scanned by CamScanner
Scanned by CamScanner

۰ - چدن های سفید و آلیاژی مخصوص

درچدن سفید تمام کربن بصورت کربور آهن است (c 13 -۹) و چون در مقطع شکسته این نوع چدن کربور به صورت سفید رنگ میباشد، به همین دلیل چدن سفید نام دارد. چدن سفید فوق‌العاده سخت و شکننده است و در مواردی که سختی و مقاومت در مقابل فرسایش مورد نظر باشد از قبیل پوشش خارجی غلطک های نورد استفاده می شود. این چدن ها با آلیاژهای چدنی معمولی فرق می‌کنند. میزان عنصر آلیاژی در آنها بیش از ۳% بوده و لذا آن را نمی‌توان توسط مواد افزودنی به پاتیل اضافه کرده و به یک ترکیب پایه استانداردی رسید. البته این چدن های آلیاژهای را به آلیاژهای عاری از گرافیت و گرافیت‌دار نیزتقسیم بندی می‌شوند و به صورت های مقاوم به خوردگی، دمای بالا، سایش و فرسایش می‌باشند.

۲-۱۱-۹ چدن های بدون گرافیت

الف - چدن سفید پرلیتی: مقاوم به سایش

ب- چدن سفید مارتنزیتی (نیکل‌سخت): مقاوم سایش

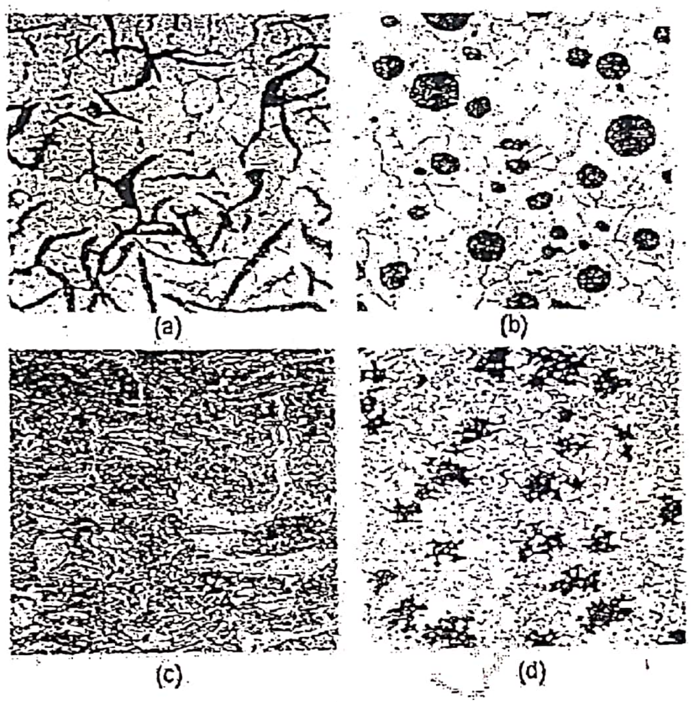
ج - چدن پر کرم (۲۳-۱۷ :(%Cr مقاوم به خوردگی، سایش و حرارت

۳-۱۱- ۹ چدن های دارای گرافیت

الف - چدن سوزنی: استحکام بالا و مقاوم به سایش

ب - آستنیتی: شامل دو نوع نیکروسیلال یعنی نیکل سیلسیم بالا و نیکل مقاوم (Ni-resist) و هر دو مقاوم به حرارت و خوردگی

Scanned by CamScanner



شکل ۱۲-۹ ساختمان میکروسکوپی انواع چدن (a) چدن خاکستری، (b) چدن نشکن، (c) چدن سفید و (d) چدن چکشخوار.

anned by CamScanner

Scanned by CamScanner

۱۲-۱ متالورژی پودر

متالورژی پودر یکی از روشهای شکل دادن فلزات محسوب می شود. گرچه این روش از لحاظ قدمت و مقدار تولید در مقایسه با فرآیند های دیگر شکل دهی فلزات نظیر ریخته گری ، آهنگری و غیره، مقام بالایی ندارد ولی امروزه بصورت یک فن عمده در آمده و یک روش صنعتی بسیار مهم تلقی می گردد. کاربرد حقیقی متالورژی پودر و فنون مربوط به آن در مقیاس تجاری به اوایل قرن نوزدهم بر می گردد، ولی امروزه این روش گسترش زیادی پیدا کرده است چنانکه بسیاری از قطعات اتومبیل ها، ابزار آلات کشاورزی، لوازم خانگی و قطعات موتورهای هواپیما از این فرآیند تهیه می شوند.

فرآیند تولید متالورژی پودر بسیار وسیع و گسترده است ولی در این فصل به متداولترین شکل آن پرداخته می شود تا با ماهیت عمومی، مفاهیم و اصطلاک کلی آن آشنا شویم.

برای تهیه قطعات از روش متالورژی پودر، ابتدا بایستی پودر مورد نظر را که دارای ترکیب های گوناگون است تهیه کرد، سپس پودر مورد مصرف را فشرده و در نهایت در اثر گرما پودرها را به هم متصل کرد، ضمناً ممکن است پس از پیوند دادن پودرها عملیات دیگری روی قطعه صورت گیرد. بنابراین فرآیند تولیدی متالورژی پودر شامل سه مرحله می باشد که برای تولید قطعه مرغوب، اصول درک مراحل بسیار ضروری است. سه مراحل مهم تولید قطعات توسط متالورژی پودر عبارتند از تهیه پودر، فشردن پودر و تف جوشی

۱۲-۲ تهیه پودر

پودر مورد مصرف در این روش عموماً پودر فلزات است که می توان به طروق مختلف از جمله اتمیزه کردن، احیاء اکسید ها، الکترولیز، خرد کردن و غیره تهیه کرد. به عبارت دیگر تهیه پودر را می توان به روشهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی انجام داد. یکی از عمده ترین روشهای فیزیکی تهیه پودر، روش اتمیزه کردن است که طی آن قطرات کوچک فلز مذاب شده از جریان اصلی جدا شده و بصورت دانه های منجمد در می آید و برای تشکیل قطرات می توان از مایعی مانند آب یا گاز (هلیم یا آرگن) استفاده کرد. بنابراین از هم پاشیدن یک سیال (مذاب) بوسیله جریان قوی مایع یا گاز (سرعت تقریبی صوت) اتمیزه کردن می گویند. این فرآیند به مقیاس چشمگیری برای تولید پودر بسیاری از فلزات و آلیاژها به کار می رود. پودر اتمیزه شده را می توان مستقیما خشک و درجه بندی کرد و به همان صورت به کار برد، یا می توان پیش از مصرف مقداری کارهای حرارتی روی آن صورت داد. با تغییر شرایط عمل می توان اندازه های پودر اتمیزه شده

Scanned by CamScanner

را به مقیاس زیادی تغییر داد. بالا بردن فشار آب یا گاز موجب کوچکتر شدن دانه ها می شود. اتمیزه کردن با گاز، دانه های کروی شکل با سطح صاف ولی با آب شکل دانه ها نامنظم بدست می آید.

احیاء پودر اکسید های فلزی در مجاورت عوامل احیاء کننده مانند هیدروژن و منو اکسید کربن از روشهای شیمیایی می باشد. از روشهای دیگر روش رسوب دادن الکترولیتی (الکترولیز) رسوب دادن توسط مایع یا گاز و تجزیه حرارتی می باشد که بسیاری از پودر فلزات و آلیاژها را بدین صورت تهیه می شوند. از روشهای مکانیکی، خرد کردن و به شکل پودر در آوردن فلزات می توان نام برد.

۱-۲-۲-۱۲ ویژگی های پودر فلزات

نحوه فشردگی پودر، خواص قطعه فشرده شده قبل از تف جوشی، تابع ویژگیهای پودر اولیه است. شکل پودر، اندازه دانه ها، ترکیب شیمیایی، ریز ساخت داخلی و سطح دانه ها در تعیین خواص قطعه تولید شده نقش کلیدی دارند. حال به بررسی مهمترین ویژگیهای پودر به اجمال می پردازیم.

الف - اندازه و توزیع اندازه دانه ها

اندازه و توزیع اندازه دانه ها، هر دو اثر چشمگیری بر رفتار پودر طی عملیات بعدی دارند. اندازه مناسب دانه ها جهت فرآیند های متالوژی پودر عموما بین ۰/۱ تا ۱۰۰۰ میکرون است. اندازه دانه ها را به دو دسته، الک کردنی (بزرگتر از ۴۴ میکرون یا ۳۲۵ + عدد غربال) و کوچکتر از الک کردنی (کوچکتر از ۴۴ میکرون یا ۳۲۵ – عدد غربال) تقسیم شده است. در یک توده پودر، همه دانه ها یک اندازه نیستند و این امر را می توان با تعیین توزیع اندازه دانه ها به صورت کمی بیان کرد.

بطور کلی بسیاری از خواص پودر فشرده و قطعه تف جوش نهایی به میزان به میزان تماسی که بین هر دانه با دانه های مجاور آن برقرار شده است، بستگی دارد. این امر به نوبه خود تابع شکل و اندازه دانه ها است.

برخی برداشتهای کلی در مورد اثر و اندازه دانه از این قرار هستند :

- برای فشردن پودر مواد ترد یا سخت مانند اکسیدها، دانه های با اندازه کوچکتر مطلوب است، زیرا اصطکاک بین دانه ای، بیشتر کمک می کند تا چسبندگی کافی برای یکپارچه ماندن قطعه طی جابجا کردن ها بعدی ایجاد شود.

- در توده پودر با اندازه دانه های ریز، تماس بین دانه ای بسیار زیادی برقرار می شود. این امر به تف جوشی کمک می کند، اما از چگالی یکنواخت پس از فشردن در قطعات بزرگ ممانعت می کند.
- دانه های درشت موجب فشردن یکنواخت تر می شوند، اما به علت تماس های کمتر بین دانه ها و کندتر بودن حرکت آنها هنگام تف جوشی، غالبا پس از تف جوشی حفره های بزرگی درون قطعه باقی می ماند.

ب - شکل دانه

شکل دانه ها بر حسب نوع فلز و روش تولید پودر تفاوت می کند و ممکن است در ایجاد بسیاری از خواص توده پودر، مانند راند مان فشرده شدن، سیلان، قابلیت فشرده شدن و غیره اثر تعیین کننده داشته باشد. شکل دانه شدیدا روی میزان تماس بین دانه های درون توده پودر و در نتیجه اندازه نیروی اصطکاک بین آنها اثر می گذارد. کروی بودن شکل دانه ها باعث کاهش اصطکاک بین دانه ها می شود و این امر به نوبه خود بر سهولت حرکت دانه ها هنگام سیلان پودر، ته نشین در قالب و هنگام فشرده شدن در قالب اثر می گذارد. زیاد شدن مساحت سطح دانه ها باعث جذب گازهای محیط و بخار آب می شود که موجب ایجاد لایه اکسیدی سطح دانه می گردد. بطور کلی شکل دانه ها ممکن است بصورت سوزنی، شاخه ای، پولکی، نامنظم، کروی و بی شکل باشند

ج - چگالی ظاهری

وزن واحد حجم پودر فشرده نشده، چگالی ظاهری پودر خوانده می شود. چگالی ظاهری که غالبا با واحد گرم بر سانتی متر مکعب بیان می شود از ویژگی های فوق العاده مهم پودر است، زیرا از این طریق می توان حجم حقیقی اشغال شده به وسیله مقدار معینی پودر فشرده نشده را تخمین زد. این امر به نوبه خود به اندازه و طول مسیر ابزار (حرکت سمبه) فشردن پودر برای فشردن یک قطعه مشخص، مربوط می شود. چگالی ظاهری پودر هر فلز تابع اندازه دانه، توزیع اندازه دانه ها، شکل و ناصافی سطح دانه ها است. چگالی ظاهری پودر های مورد مصرف در متالورژی پودر معمولا حدود ۱۵ درصد برای پودر نرم با دانه های نامنظم و حدود ۶۰ درصد برای پودر درشت با دانه های صاف و کروی تغییر می کند.

د - سرعت سیلان یا قابلیت سیلان

قابلیت سیلان پودر فلز از مخزن پودر به فضای خالی داخل قالب بسیار مهم است. این ویژگی پودر مانند چگالی ظاهر آن، به اصطکاک بین دانه ای مربوط است. بطور کلی، عواملی که اصطکاک بین دانه ای را کاهش می دهند یا چگالی ظاهری را بالا می برند (مانند صافی سطح و کرویت دانه ها) موجب سهولت سیلان پودر می شوند.

ه - قابلیت فشرده شدن

این ویژگی، معیاری از مقدار تراکم حاصله در توده پودر در اثر فشار می باشد. قابلیت فشرده شدن پودر مانند سرعت سیلان و چگالی ظاهری آن، تابع اثرات اصطکاک بین دانه ای و ماهیت خود دانه ها (وجود یا عدم وجود تخلخل درون دانه ای) است.

۱۲-۳ فشردن پودر

همانگونه که در مقدمه اشاره شد در فرآیند تولید متالورژی پودر، بعد از تهیه پودر آنرا در داخل قالب ریخته و پرس (فشرده کردن) نمود تا به شکل دلخواه در آید. مرحله فشردن پودر در داخل قالب بصورتی باید باشد تا پودر ضمن اینکه به شکل مورد نظر و یکپارچه در می آید، نوع و میزان تخلخل و استحکام مناسبی را نیز به خود بگیرد. بنابراین فرآیند فشردن پودر نیز از عملیات اساسی متالورژی پودر می باشد و در این مرحله به بررسی بیشتر آن می پردازیم. فشردن پود رها، مانند سیال رفتار نمی کند، یعنی نیروی فشرده شدن به طور یکسان بر آن عمل نمی کند، در نتیجه در صورت عدم انتخاب روش فشردن معقول، ممکن است که قطعه چگالی غیر یکنواختی پیدا کنند. قبل ریختن پودر به داخل قالب، مقداری روان ساز به آن اضافه می شود. این روانساز ها باعث کاهش اصطکاک بین پودر و ابزار فشردن (دیواره های قالب ، سمبه و میله های ماهیچه) می گردند. به این ترتیب فشار موثر بیشتری به توده پودر وارد می شود و در نتیجه به ازاء فشار معین، چگالی قطعه بالاتر می رود. علاوه براین، ماده روانساز به کاهش نیروی لازم جهت خارج کردن قطعه از قالب کمک می کند، از سایش سطوح ابزار نیز جلوگیری می نماید . پود رها را به طروق مختلف در داخل قالب می فشارند که می توان از روشهای فشردن پودر در قالب های صلب، فشردن هیدرواستا تیکی در دمای اتاق و دماهای بالا، قالب های

anned by CamScanner

Scanned by CamScanner

انعطاف پذیر، آهنگری، فشردن ارتعاشی و غیره نام برد. به جهت اینکه فشردن پودر در قالب های صلب تنوع زیادی در طرح ابزار و ترتیب حرکات پرس وجود دارد و اینکه تعداد قطعات متالورژی پودر توسط این روش نسبت به روشهای دیگر زیاد است، لذا به بررسی رفتار پودر توسط این روش (فشردن پودر در قالب های صلب) می پردازیم .

زمانیکه پود رها در داخل قالب تحت اثر نیروی فشردن قرار می گیرند، احتمال رخ دادن سه جریان زیر وجود دارد :

الف - دانه ها حرکت جمعی می یابند که در نتیجه آن با تغییر وضعیت استقرار خود، راند مان تراکم بالا می برند.

ب - تغییر شکل الاستیکی و پلاستیکی در دانه پودر رخ می دهند.

ج - با بالا رفتن نیروی فشرده ممکن است که دانه ها بشکنند.

تغییر وضعیت استقرار دانه ها به وسیله اصطکاک بین دانه ای و همچنین اصطکاک بین پودر و ابزار فشردن محدود می شود. این گونه حرکت کلی دانه ها عموماً در فشار های کم صورت می گیرد و پس از اینکه احتمال تغییر وضعیت استقرار دانه ها به نحو مطلوبی پایین آمد، این امکان بو جود می آید که به میزان چشمگیری تغییر شکل دهند و توده پودر را متراکم تر کنند (کاهش تخلخل). این مهمترین مکانیزم تراکم است که در بالا بردن چگالی قطعه دخالت دارد و حتی ممکن است به افزایش چشمگیر سطح تماس بین دانه ها منجر شود که این امر برای ایجاد استحکام در قطعه ضروری است. میزان تغییر شکل دایمی تابع شکل پذیری، تنش تسلیم و ویژگی های سخت شدن کرنشی مواد تشکیل دهنده دانه است. در پودر های که از مواد نرم و سخت هستند، بجای تغییر شکل، خرد می شوند که باعث تراکم بیشتر می گردند، چون دانه های کوچک می توانند وارد فضای خالی بین دانه های بزرگتر شوند. استحکام پودر فشرده شده که غالبا استحکام قطعه خام آن خوانده می شود، ناشی از چسبندگی بین دانه ای است که خود حاصل در هم فرو رفتن نقاط سخت دانه های پودر است و امکان دارد تغییر شکل دایمی که هنگام فشردن پودر مواد شکل پذیر صورت می گیرد، این چسبندگی را تا حد زیادی بالا ببرد. عموما استحکام را می توان از راههای زیر بالا برد، استفاده از پودر نرم ، استفاده از پود رهایی با دانه های نا منظم و سطح ناصاف، بالا بردن چگالی قطعه، کاهش آلودگی سطح دانه ها و کاهش مقدار ماده روانساز یا افزودنی دیگر.

۴-۱۲. تف جوشی

۵

Scanned by CamScanner

پس از فشردن پودر، مرحله مهم بعد در فرایند متالورژی پودر، تف جوشی است. تف جوشی یک پدیده پیچیده فیزیکی است که ممکن است برای افراد مختلف معانی متفاوتی داشته باشد. در کارهای متالورژی پودر، تف جوشی را می توان به عنوان فرآیندی که طی آن دانه های پودر در اثر گرما پیوند متالورژیکی تشکیل می دهند و افزایش چگالی می یابند، تعریف کرد. تف جوشی باعث تغییرات متعددی در ساختار ماده، از بین رفتن تخلخل و بهبود در خواص مکانیکی آن می شود. اما در کارهای تجاری که کنترل اندازه قطعه مورد نظر است، معمولا افزایش چگالی بیش از اندازه معینی مطلوب نیست و در نتیجه باید فرآیند تف جوشی متناسب با آن کنترل شود.

در عمل تف جوشی، در محیط محافظ یا احیاء کننده و در فشار معمولی تا دمایی زیر دمای ذوب یا خط انجماد گرم می شود و تغییرات زیر در پودر فشرده شده صورت می گیرد:

۱) دانه شروع به جوش خوردن می کنند و استحکام و هدایت مخصوص الکتریکی و گرمایی قطعه بالا می رود.

۲) با ادامه زمان تف جوشی یا افزایش دما، استحکام زیاد می شود.

۳) با افزایش استحکام، چگالی قطعه افزایش پیدا می کند که موجب کاهش تخلخل می شود.

۴) ممکن است اندازه دانه ها بزرگ شوند.

۵) با پیشرفت تف جوشی، حفره های داخلی (تخلخل) صاف تر و کروی تر می شوند.

۶) در هر محیط تف جوشی مناسب، گازهای جذب شده در سطح دانه ها از قطعه خارج شده و اکسید های سطحی احیاء می شوند.

بطور کلی با ادامه فرآیند تف جوشی استحکام و شکل پذیری قطعه بالا می رود. این افزایش به ازدیاد پیوندهای بین دانه ای و تغییرات ایجاد شده در مقدار شکل تخلخل درون قطعه مربوط می شود. تخلخل بر خواص مکانیکی اثر منفی دارد چون که تخلخل، محلی برای تمرکز تنش و موضعی شدن کرنش فراهم می آورد و در نتیجه تغییر شکل و شکست در نیروهای نسبتا کم صورت می گیرد. صاف شدن، گرد شدن و جدا شدن حفره ها از یکدیگر موجب بهبود استحکام، شکل پذیری و چقرمگی می شود.

تف جوشی به شش مرحله تقسیم شده است که عبارتند از:

Scanned by CamScanner

الف - پیوند خوردن دانه ها

جابجا شدن اتم ها در محل تماس دانه های مجاور موجب برقرار شدن پیوند فیزیکی و مرز دانه در این نقاط می شود.

ب - رشد گلوگاه

ادامه انتقال جرم منجر به تشکیل گلوگاه های مشخص بین دانه ای می شود، که این گلوگاه از محل پیوند اولیه بین دانه ها رشد می کند. این مرحله استحکام قطعه را به شدت افزایش می دهد.

ج - بسته شدن معبر های تخلخل

ادامه رشد گلوگاه می تواند موجب بسته شدن معابر تخلخل در قطعه شود که نتیجه آن بروز تخلخل پراکنده است. کنترل این جریان در تف جوشی قطعاتی که متکی به تخلخل درون پیوسته هستند بسیار مهم است.

د - گرد شدن حفره ها

با پیشرفت عمل رشد گلوگاه، انتقال ماه از سطح عمومی دانه به محل گلوگاه، موجب صاف شدن دیواره حفره می شود. این پدیده می تواند از نظر بهبود شکل پذیری و چقرمگی قطعه تف جوش، یک تغییر ساختار مهم باشد.

ه - انقباض حفره ها

با ادامه تف جوشی، حفره های درون قطعه می توانند شروع به انقباض و کاهش تعداد، کنند که در نتیجه باعث بالا رفتن چگالی قطعه می شود. البته در این مرحله از تف جوشی نمی توان تمام تخلخل را از بین برد و حتی پس از تف جوشی، تعداد حفره های زیادی باقی ماند مخصوصا درون دانه ها.

و - درشت شدن حفره ها

مرحله آخر تف جوشی، درشت شدن حفره ها است که این مرحله در بیشتر کارهای تجاری، چندان مهم تلقی نمی شود. در صورت بروز این پدیده، اندازه برخی حفره ها بزرگ افزایش می یابد و همزمان با آن تعدادی از حفره های کوچکتر از بین می روند.

در پایان اینکه تغییرات ساختاری گوناگونی که حین تف جوشی صورت می گیرد، تابع انتقال جرم در نقاط مختلف قطعه پودر فشرده است. اگر این تغییرات ساختاری بخواهند به صورت لحظه ای انجام شود، باید در مجموع از انرژی آزاد قطعه کاسته شود. در یک

@TM_Mechanic

Scanned by CamScanner

ماده ساده، این کاهش انرژی آزاد با کاهش مساحت سطح (و در نتیجه انرژی سطح) قطعه همراه است. تمام تغییرات اساسی ساختاری مانند رشد گلوگاه، گرد شده حفره ها و غیره به کاهش مساحت سطح درون قطعه منجر می شوند. در نتیجه جای تعجب نیست که هر چه مساحت سطح اولیه بیشتر باشد، نیروی رانش تف جوشی هم بالاتر است، یعنی قطعات فشرده از پودر نرمتر، سریعتر از قطعات پودر درشت تر تف جوش می شوند. قابل ذکر است در انتقال جرم تف جوش معمولی، نفوذ در حالت جامد به درون شبکه بلورین و از طریق مسیرهای میان بر مانند سطح دانه ها و مرزهای بین دانه ای است.

Scanned by CamScanner